



TITLE:

# 磁気嵐時におけるグローバル地磁気変動と熱圏風変動について

AUTHOR(S):

新堀, 淳樹; 田中, 良昌; 辻, 裕司; 菊池, 崇; 小山, 幸伸;  
林, 寛生; 富川, 喜弘; 長妻, 努; 堤, 雅基; IUGONETプロジェクトチーム

---

CITATION:

新堀, 淳樹 ...[et al]. 磁気嵐時におけるグローバル地磁気変動と熱圏風変動について. 2011

ISSUE DATE:

2011-09-28

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/149220>

RIGHT:

/ This is not the published version. Please cite only the published version. この論文は出版社版ではありません。引用の際には出版社版をご確認ご利用ください。



# IUGONET

Metadata DB for Upper Atmosphere

## 磁気圏-電離圏複合系における対流 に関する研究会@名古屋

超高層大気長期変動の全球地上ネットワーク観測・研究  
Inter-university Upper atmosphere Global Observation NETwork

# 磁気嵐時におけるグローバル地磁気変動 と熱圏風変動について

新堀淳樹・田中良昌・辻裕司・菊池崇・  
小山幸伸・林寛生・富川喜弘・長妻努・  
堤雅基・IUGONETプロジェクトチーム



# I. はじめに

## I.1 磁気嵐に関連したグローバルな地磁気変動の起源

### (1) 磁気圏ダイナモで作られる巨視的電流系

R-1、R-2電流系に伴って極域電離圏に印加した大規模電離圏電場の赤道電離圏への侵入

[e.g., Nishida, 1968; Pellat and Laval, 1972; Kikuchi et al., 2008]

○IMFの極性に非常に良い相関がある

$B_z < 0 \Rightarrow$  東向き赤道ジェット電流 (dawn-to-dusk電場の侵入)

$B_z > 0 \Rightarrow$  西向き赤道ジェット電流 (dusk-to-dawn電場の侵入)

### (2) 電離圏擾乱ダイナモによる電離圏電流

磁気嵐主相中の極域熱圏高度におけるジュール加熱によって生成される熱圏風が駆動する電離圏電場起源の電流

[e.g., Fejer, 1983; Sastri, 1988; Fejer, 2002; Zaka et al., 2009]

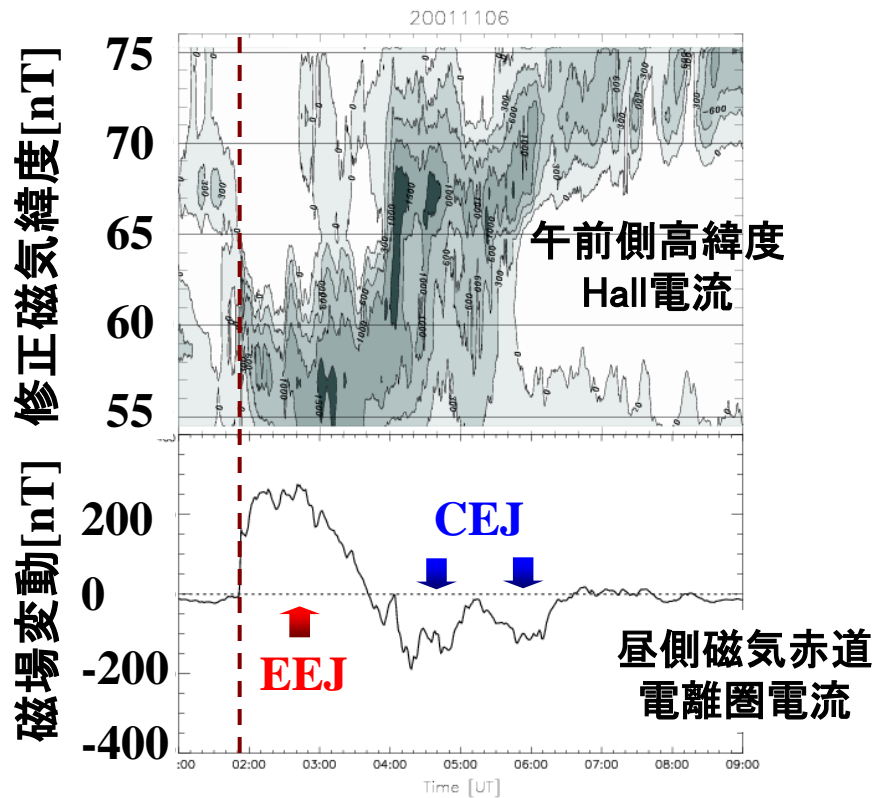
○IMFの極性に無関係で、長時間にわたって現象が継続する

西向き赤道ジェット電流 (dusk-to-dawn電場の形成)

# I. はじめに

## I.2 磁気嵐時のグローバル電流系と地磁気変動

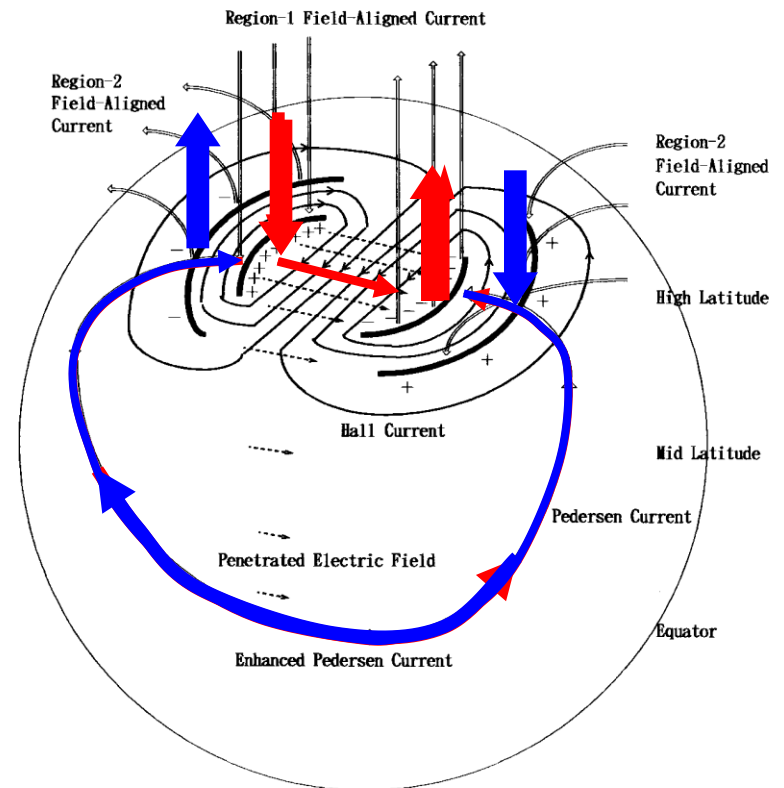
### 高緯度－赤道域の地上磁場変動



[after Kikuchi et al., 2008]

EEJ: Equatorial ElectroJet  
CEJ: equatorial Counter ElectroJet

### グローバル電流系の模式図



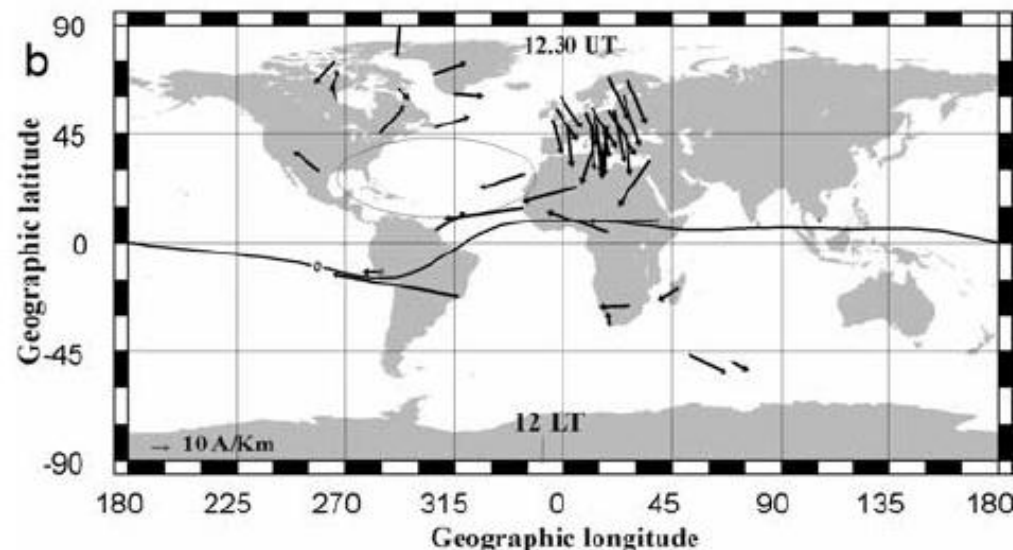
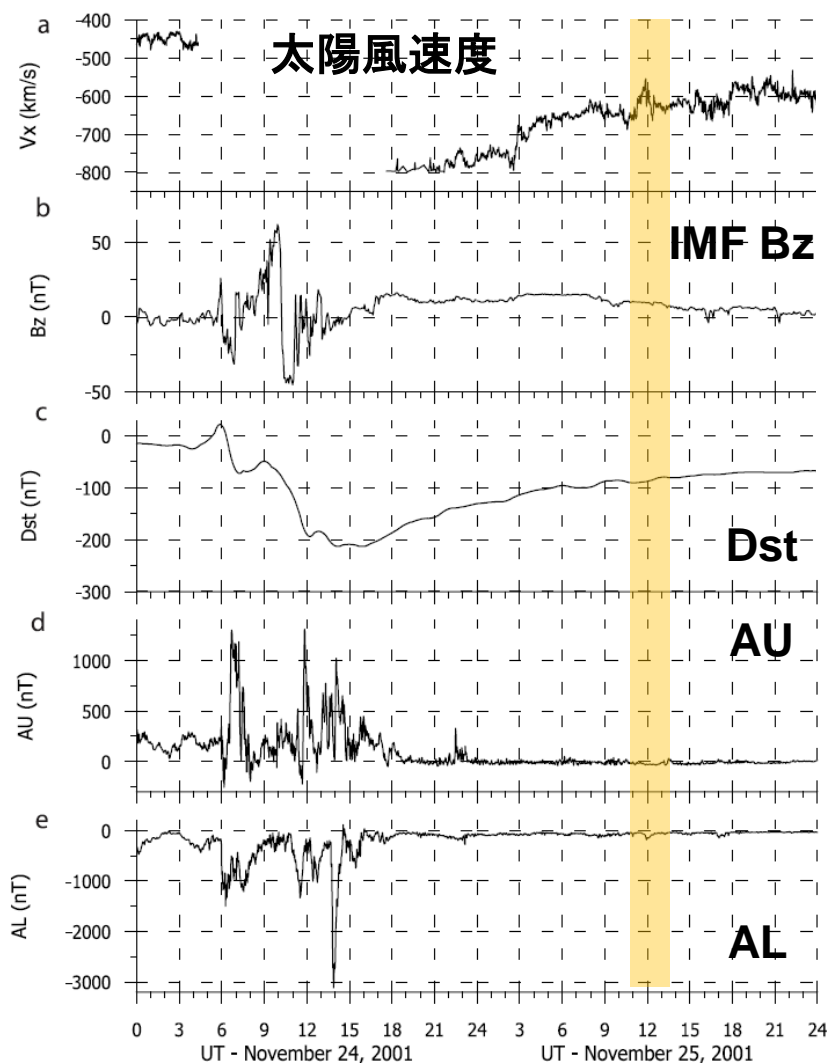
[after Kikuchi et al., 1996]



# I. はじめに

## I.3 磁気嵐時の電離圏ダイナモの作る磁場変化-1

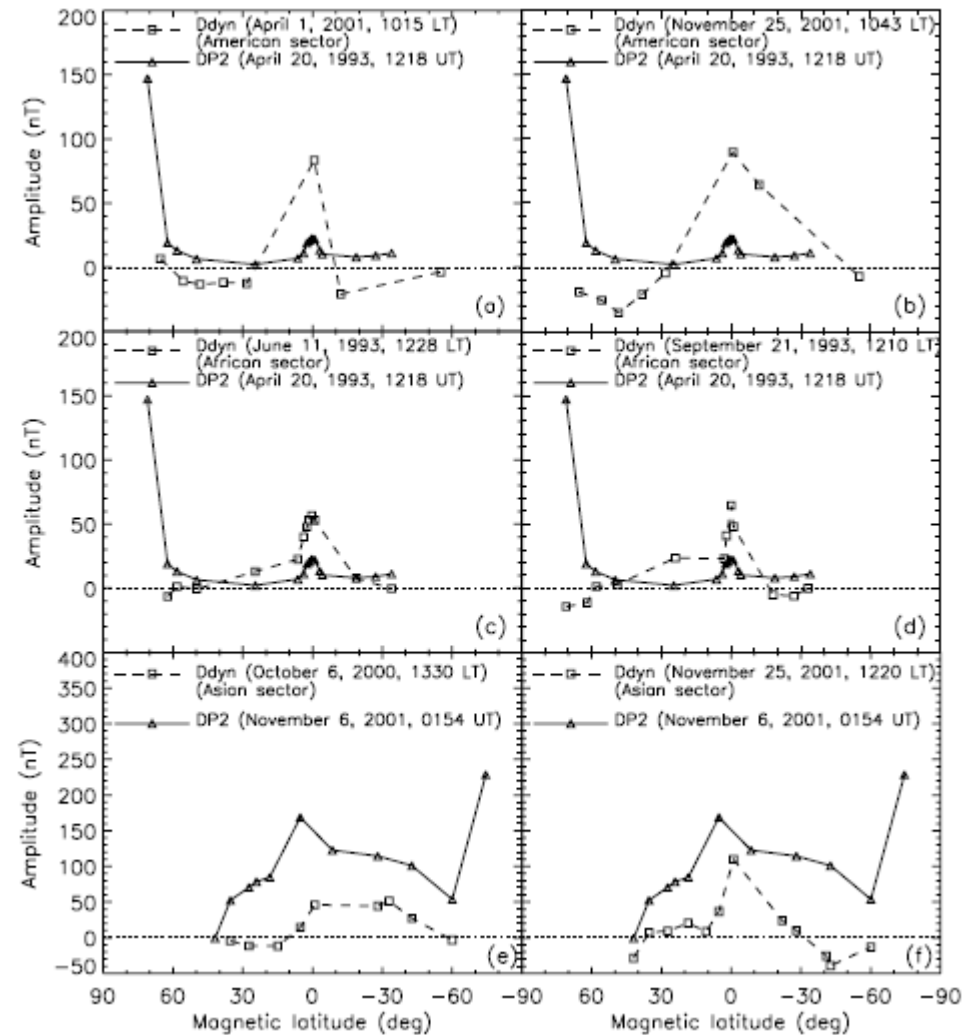
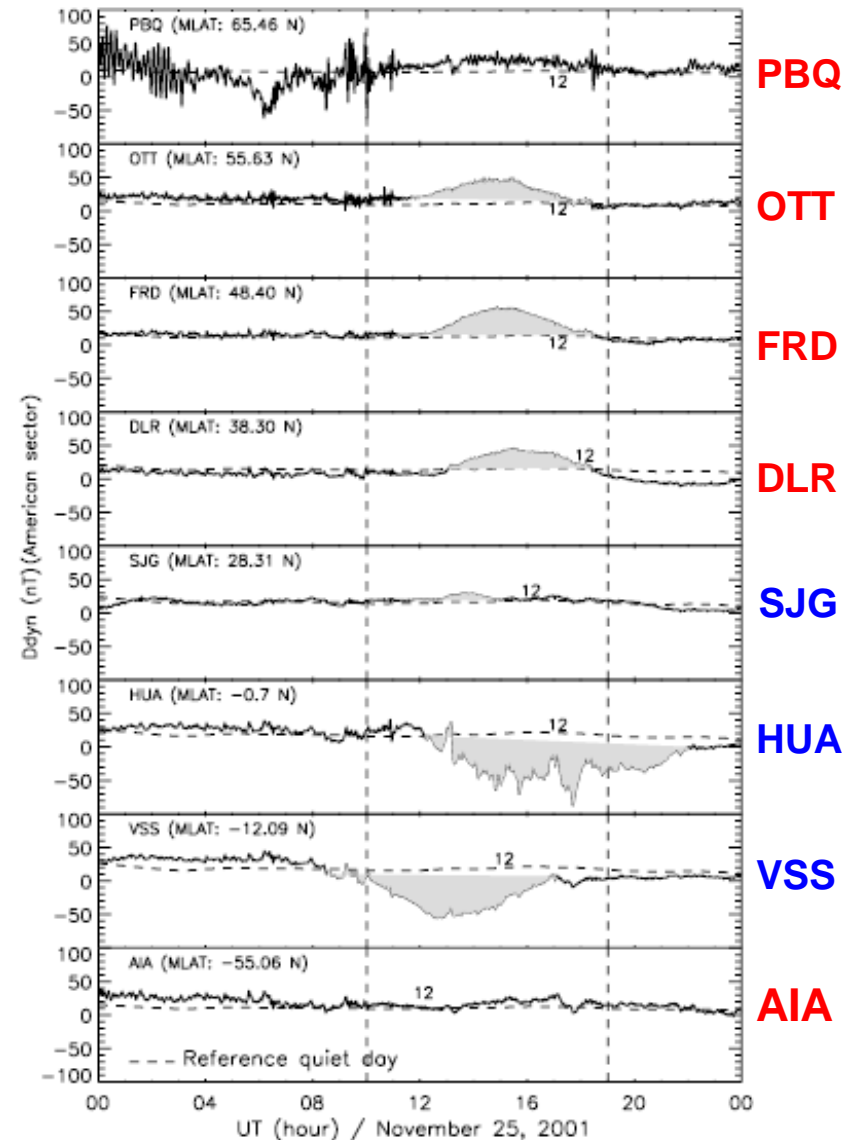
[Le and Mazaudier, 2008]



2001/11/25 12:30 UTにおける地  
磁気等価電流マップ

磁気嵐回復相後期で地磁気静  
穏日変化( $S_q$ )を弱める電流系が  
形成

## I.4 磁気嵐時の電離圏ダイナモを作る磁場変化-2



## I.4 本発表の主題

### これまでの問題点

1. **磁気嵐時に重要となる中低緯度領域の地磁気観測点の不足**  
→磁気赤道域で現れる西向き赤道ジェット電流と  
領域2 FACと電離圏ダイナモの作る遮蔽電場との  
関係が不明瞭
2. **複合系の立場で組織だった地磁気と熱圏風データとの詳細な  
調査が行われていない**

### 本発表の目的

2002年5月23-24日に発生した典型的な磁気嵐イベントに対して、  
地磁気データと熱圏下部・中間圏における風速データを解析すること  
によって、**磁気嵐主相と回復相におけるグローバル電流系の動的  
姿と熱圏風変動の特徴を調べる**



## II. 観測データ・解析手法

### (1) 観測データ

- 太陽風・IMFデータ:1分値 (CDAWeb)
- 地磁気指数(AE、SYM-H):1分値 (WDC京都)
- 地磁気データ:1分値  
WDC京都、NSWM(NICT)、CARISMA、IMAGE、GEMA
- 熱圏風データ:昭和基地MFレーダー

### (2) 解析手法(IUGONETの解析ソフトUDASを駆使)

- ◎ 地磁気静穏日変化(Sq)と背景磁場の除去

$$dX \text{ or } dY = X_{\text{storm}} \text{ or } Y_{\text{storm}} - X_{\text{sq}} \text{ or } Y_{\text{sq}}$$

$$X = H * \cos D$$

$$Y = H * \sin D$$

同定した静穏日:2002年5月31日(Kp<1+)

- ◎ 環電流・磁気圏界面電流の効果を出来るだけ除去

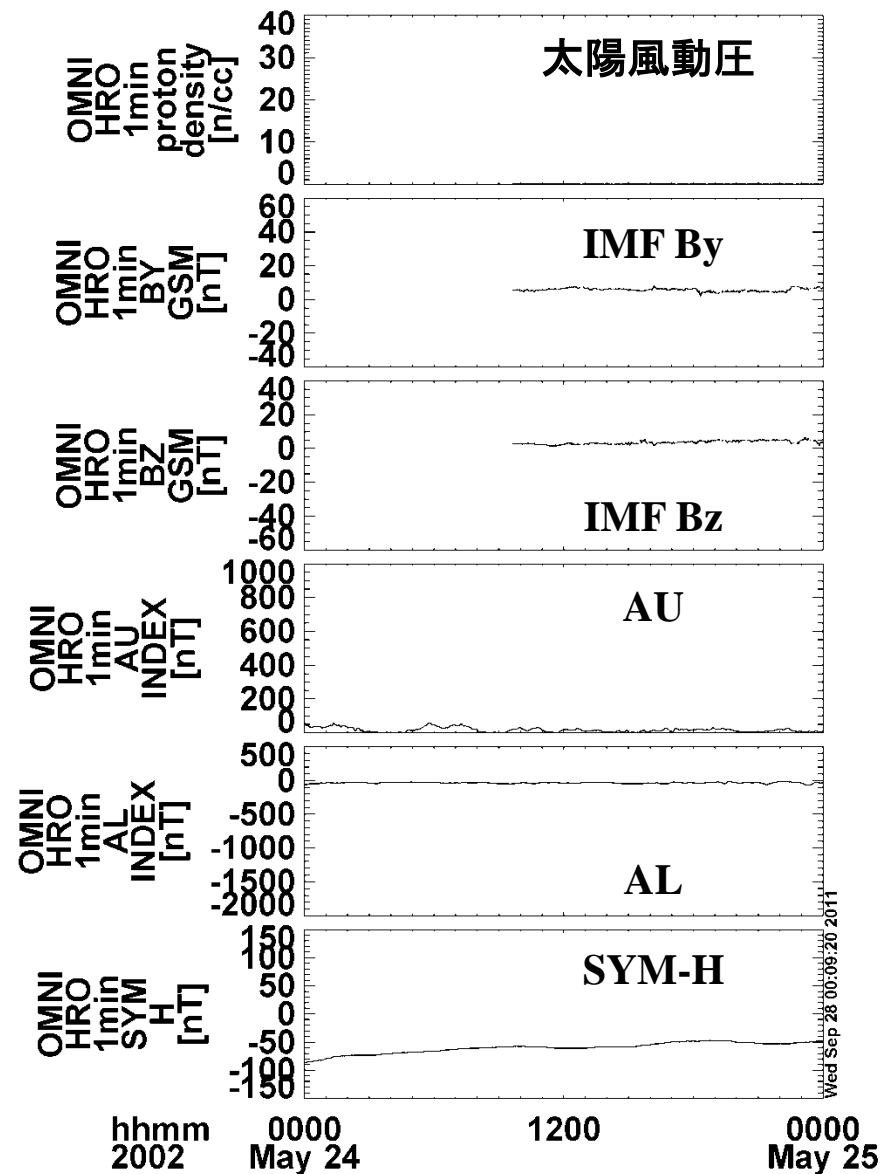
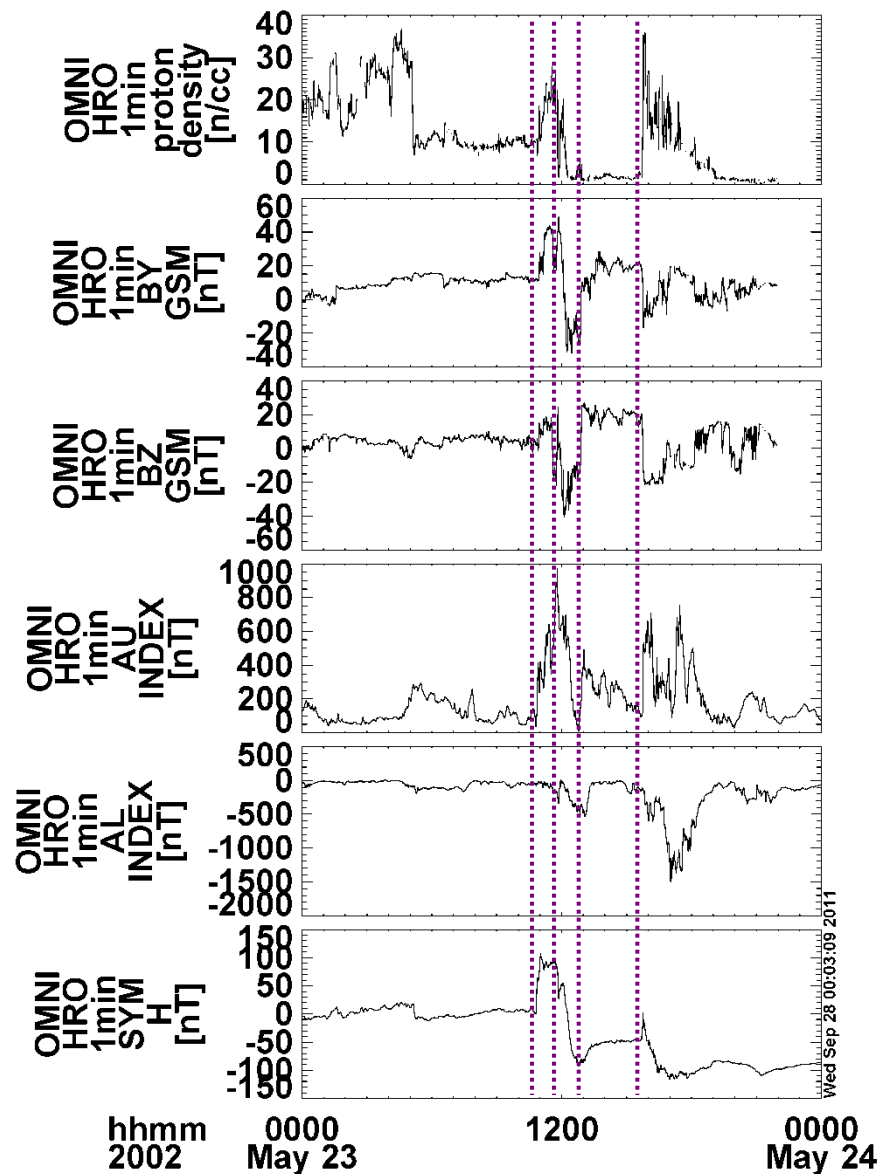
低緯度の観測点の擾乱場成分を差し引く

- 24時間コンポジットデータをフーリエ近似することにより、熱圏下部・中間圏における潮汐波動の振幅と位相の高度分布を導出



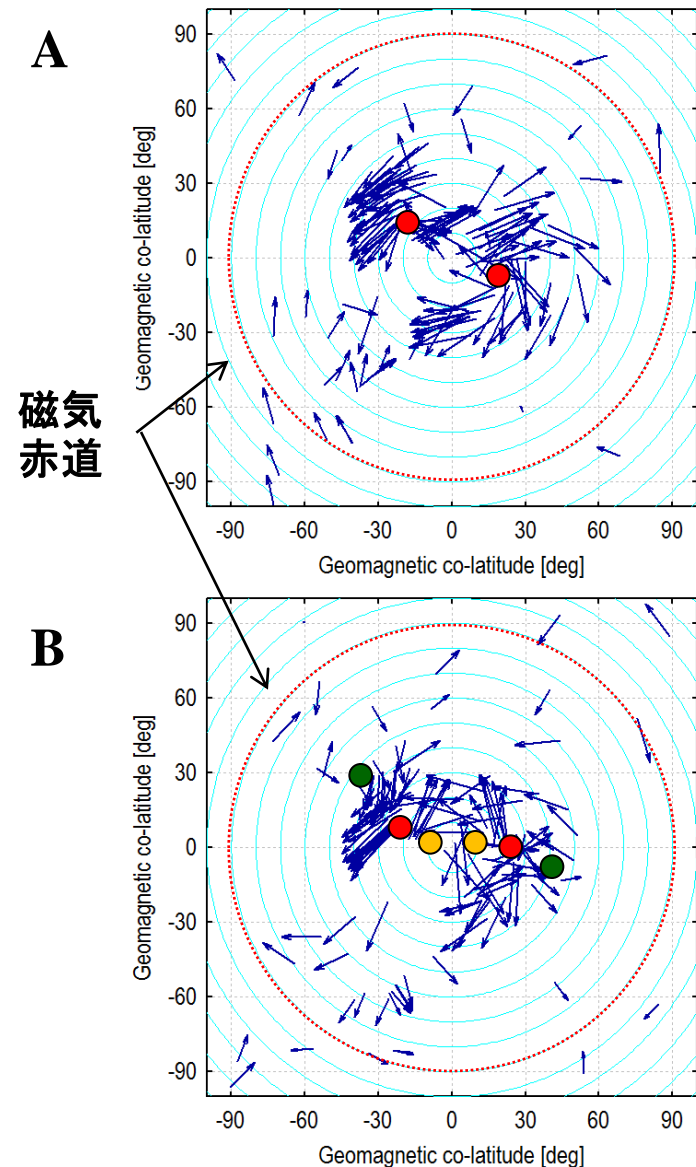
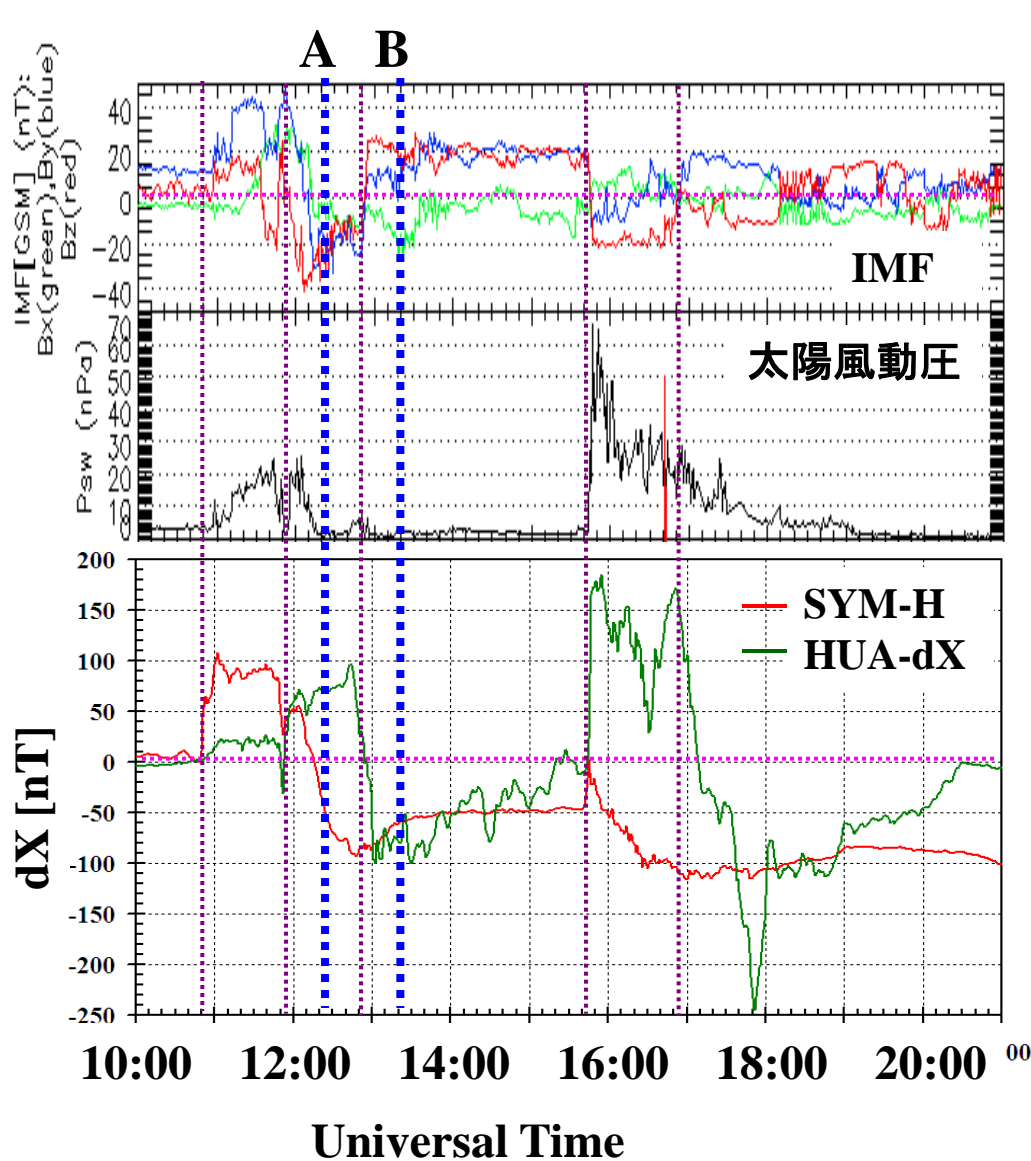
# III. 磁気嵐時のグローバル地磁気変動

## III.1 磁気嵐時の太陽風パラメタと地磁気指数変動



# III. 磁気嵐時のグローバル地磁気変動

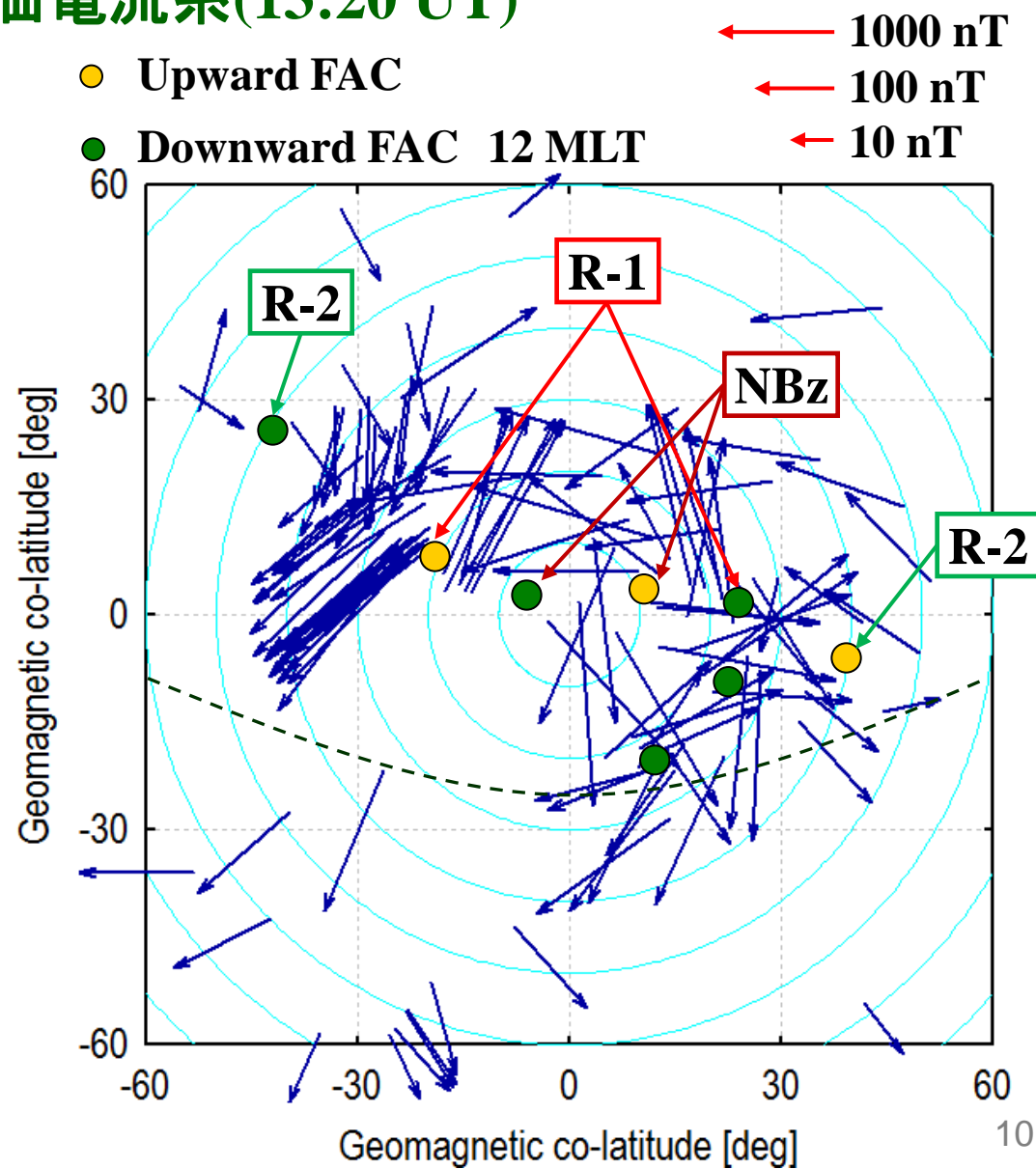
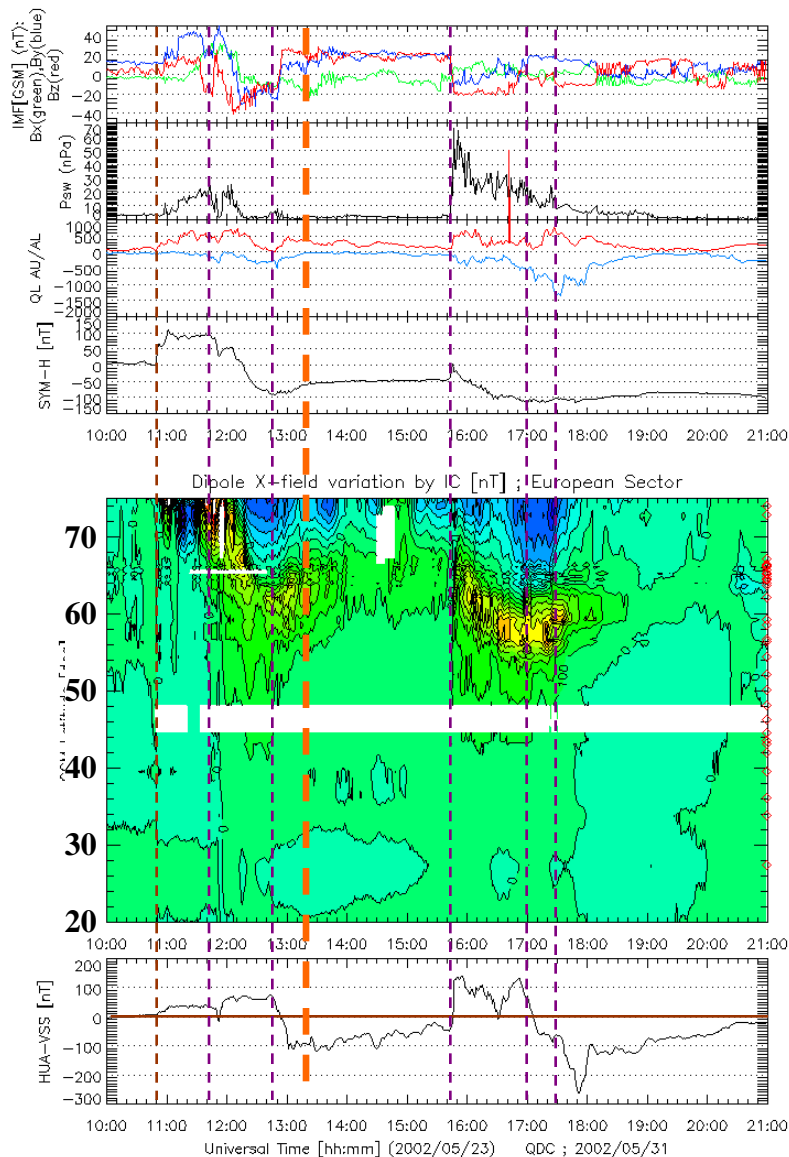
## III.2 磁気嵐時の赤道域磁場変動とグローバルな等価電流系





# III. 磁気嵐時のグローバル地磁気変動

## III.3 磁気嵐回復相時の等価電流系(13:20 UT)

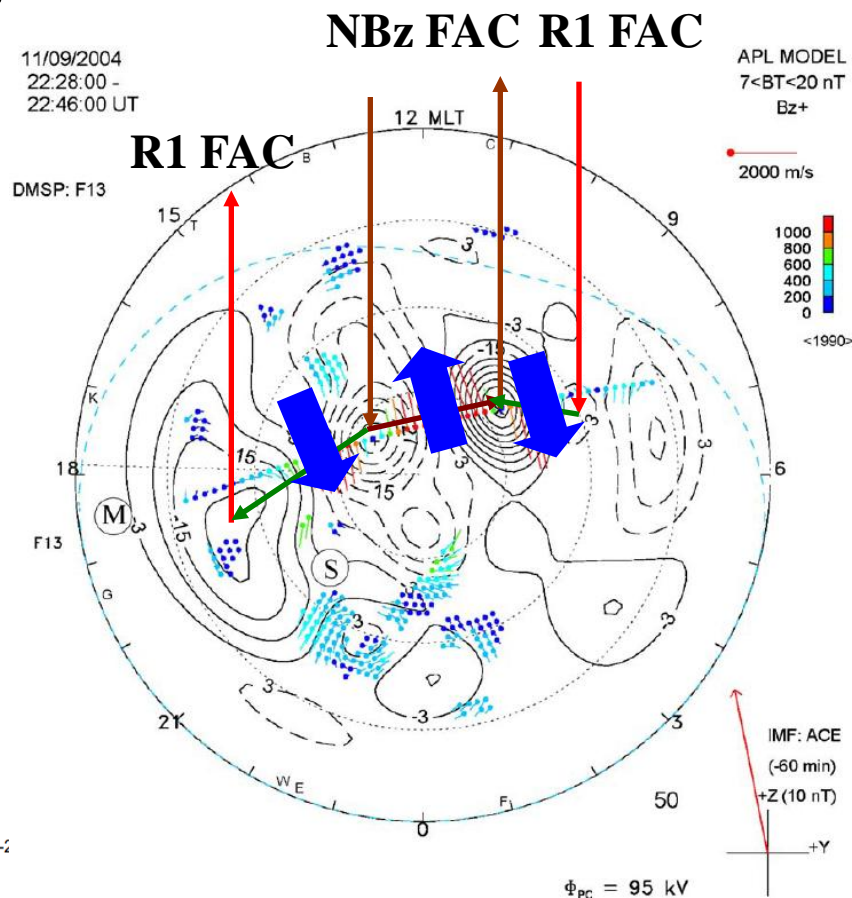
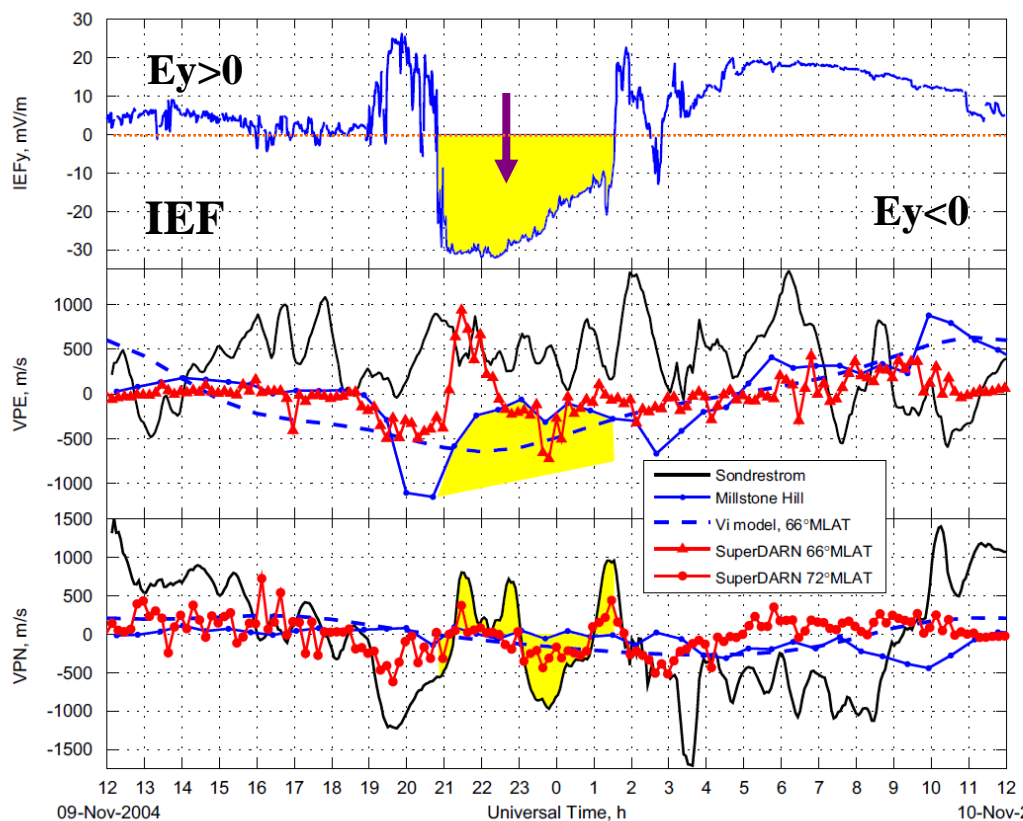


# III. 磁気嵐時のグローバル地磁気変動

## III.4 強い北向き転向による磁気嵐回復相時の対流のパターン

2004年11月9-10日に発生した巨大磁気嵐

[Erickson et al., 2010]

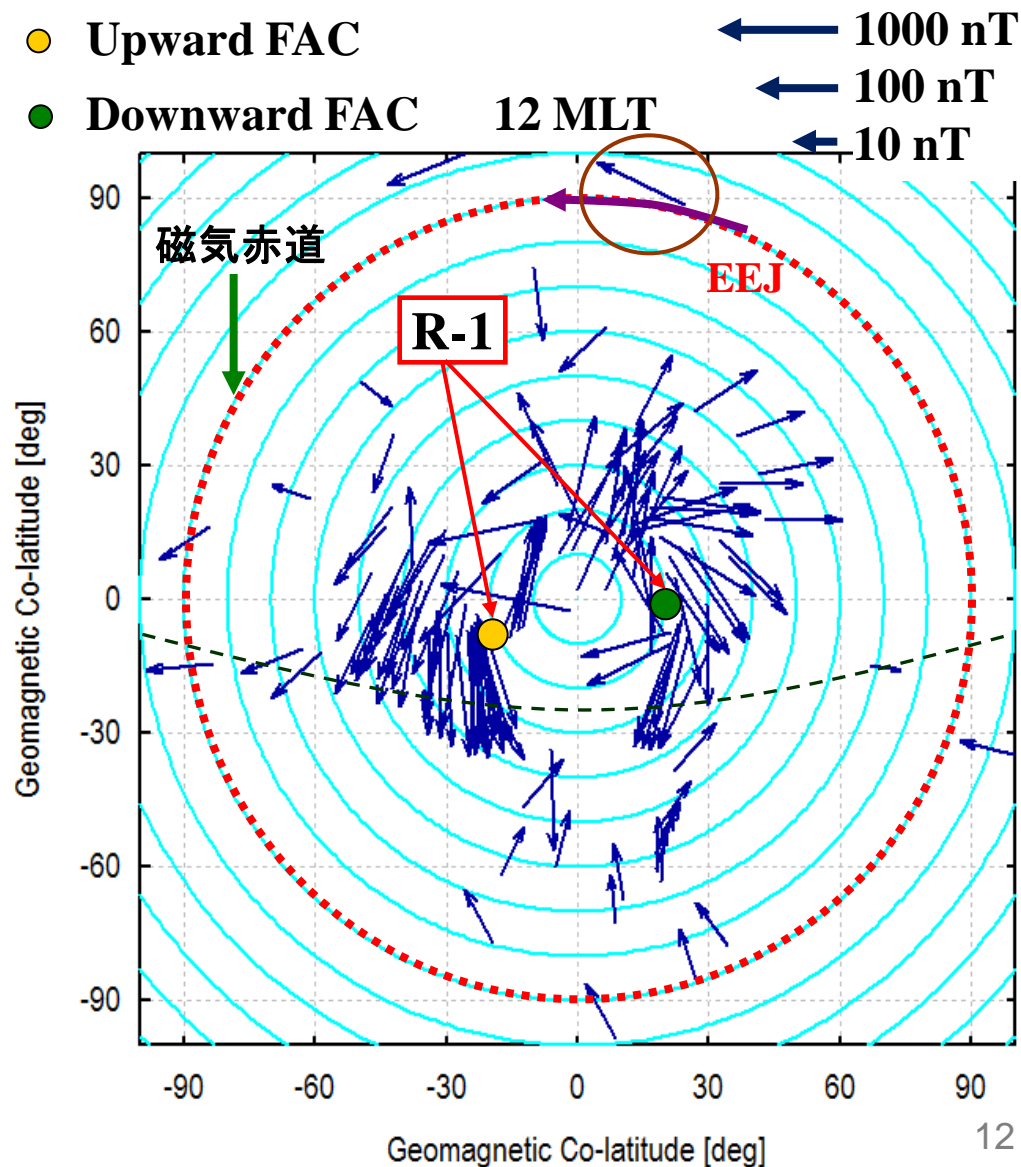
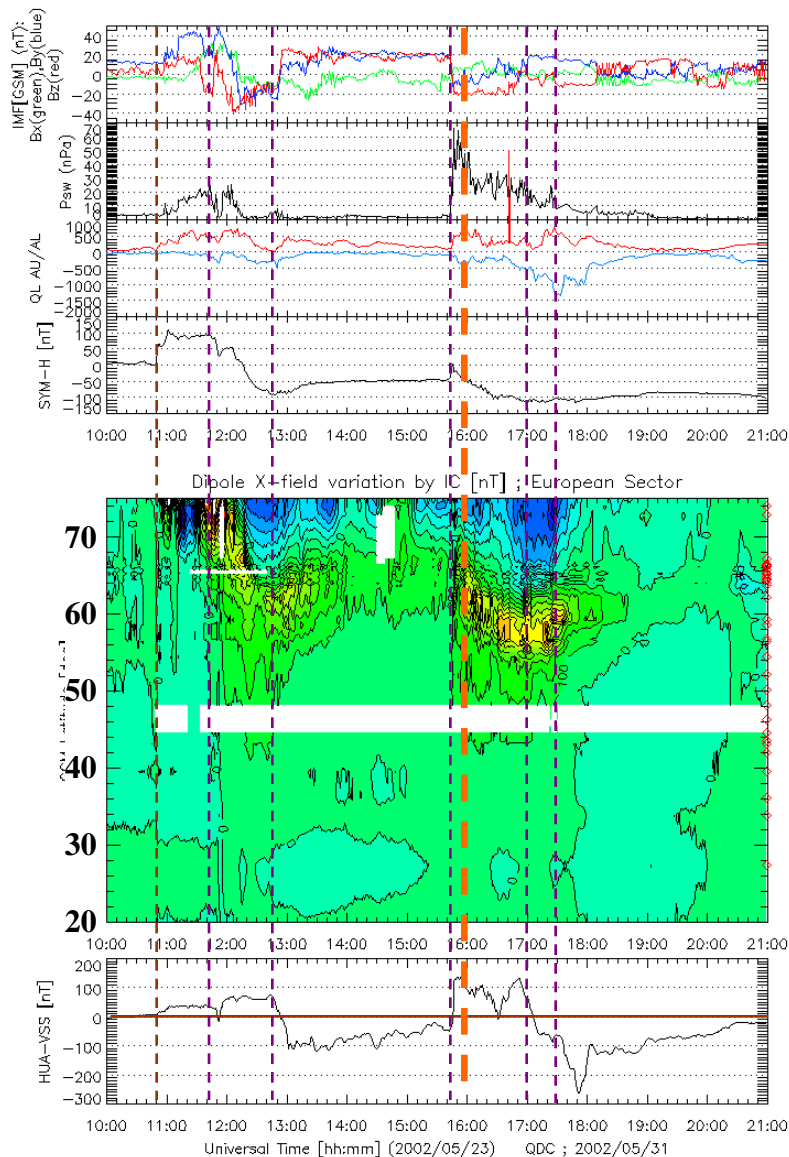


極冠域: 4セルの出現(NBz+R-1)  
中緯度-赤道域: 過遮蔽状態(R-2)



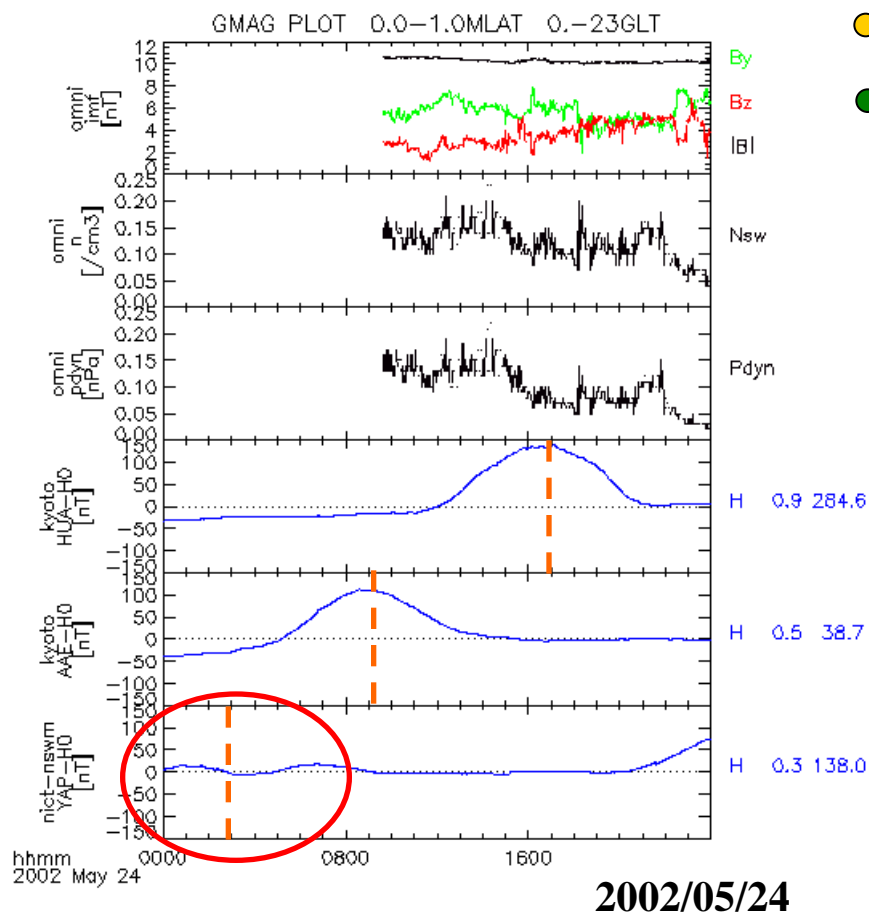
# III. 磁気嵐時のグローバル地磁気変動

## III.3 磁気嵐主相時の等価電流系(16:00 UT)



# III. 磁気嵐時のグローバル地磁気変動

## III.6 磁気嵐後の電離圏擾乱に伴う地磁気変動(03:20 UT)



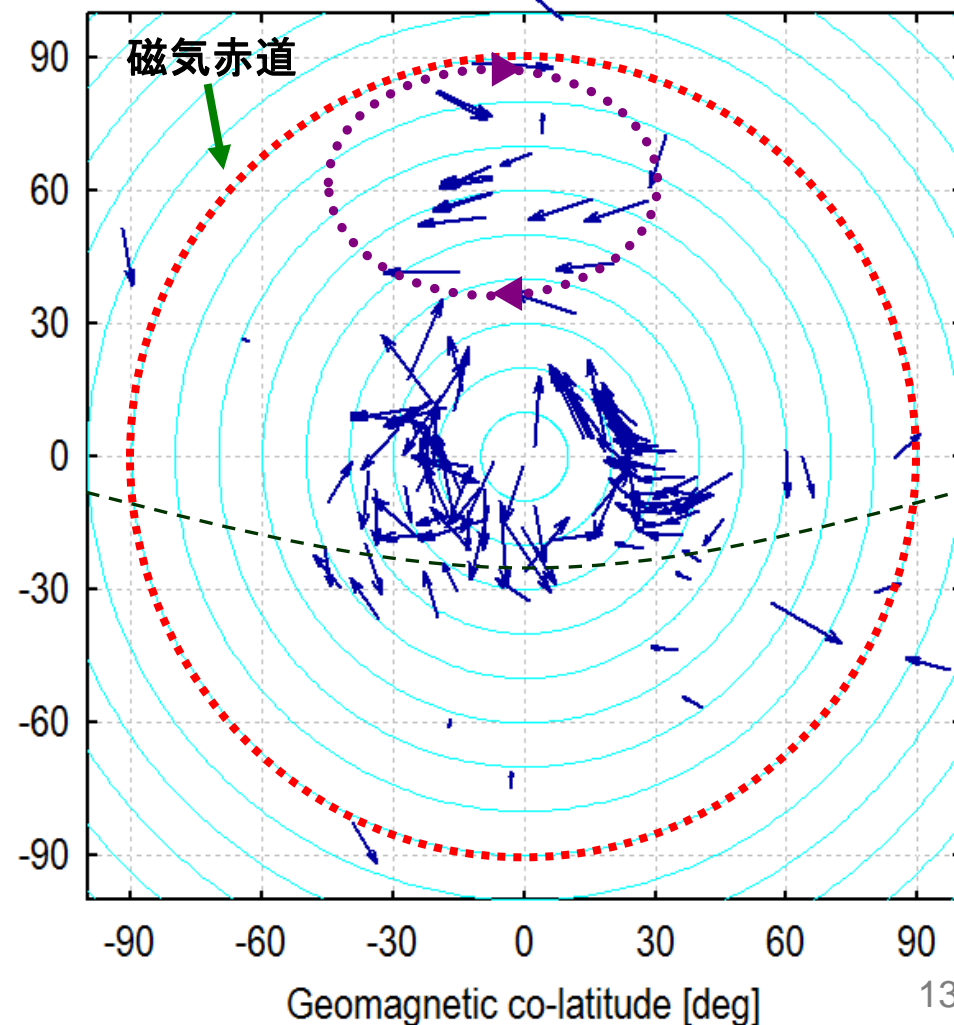
● Upward FAC

● Downward FAC 12 MLT

1000 nT

100 nT

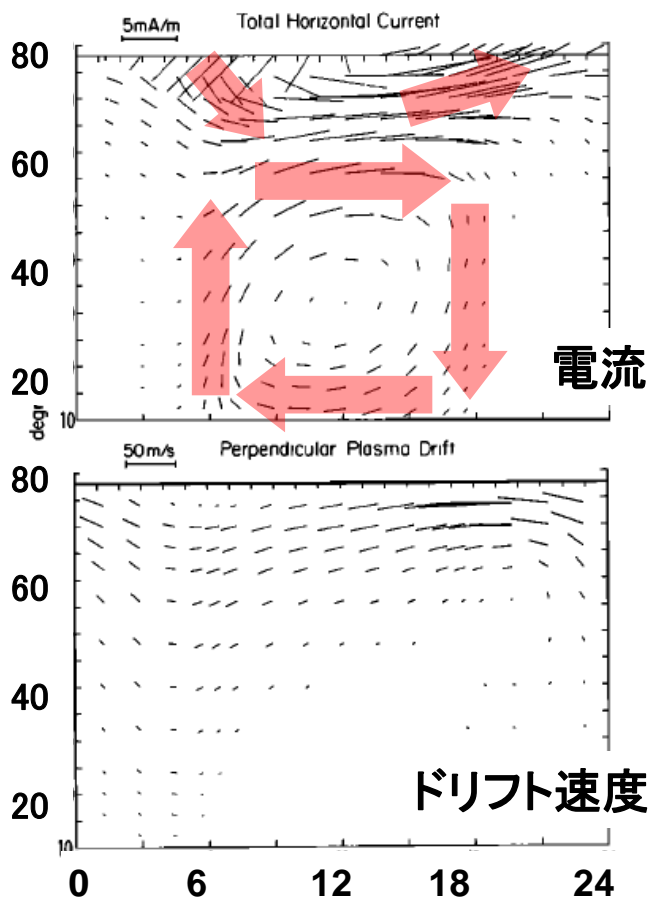
10 nT



中緯度(20-60度): 東向き電流  
赤道域(0-20度): 西向き電流

# III. 磁気嵐時のグローバル地磁気変動

## III.7 磁気嵐後の電離圏擾乱に伴う地磁気変動(03:20 UT)

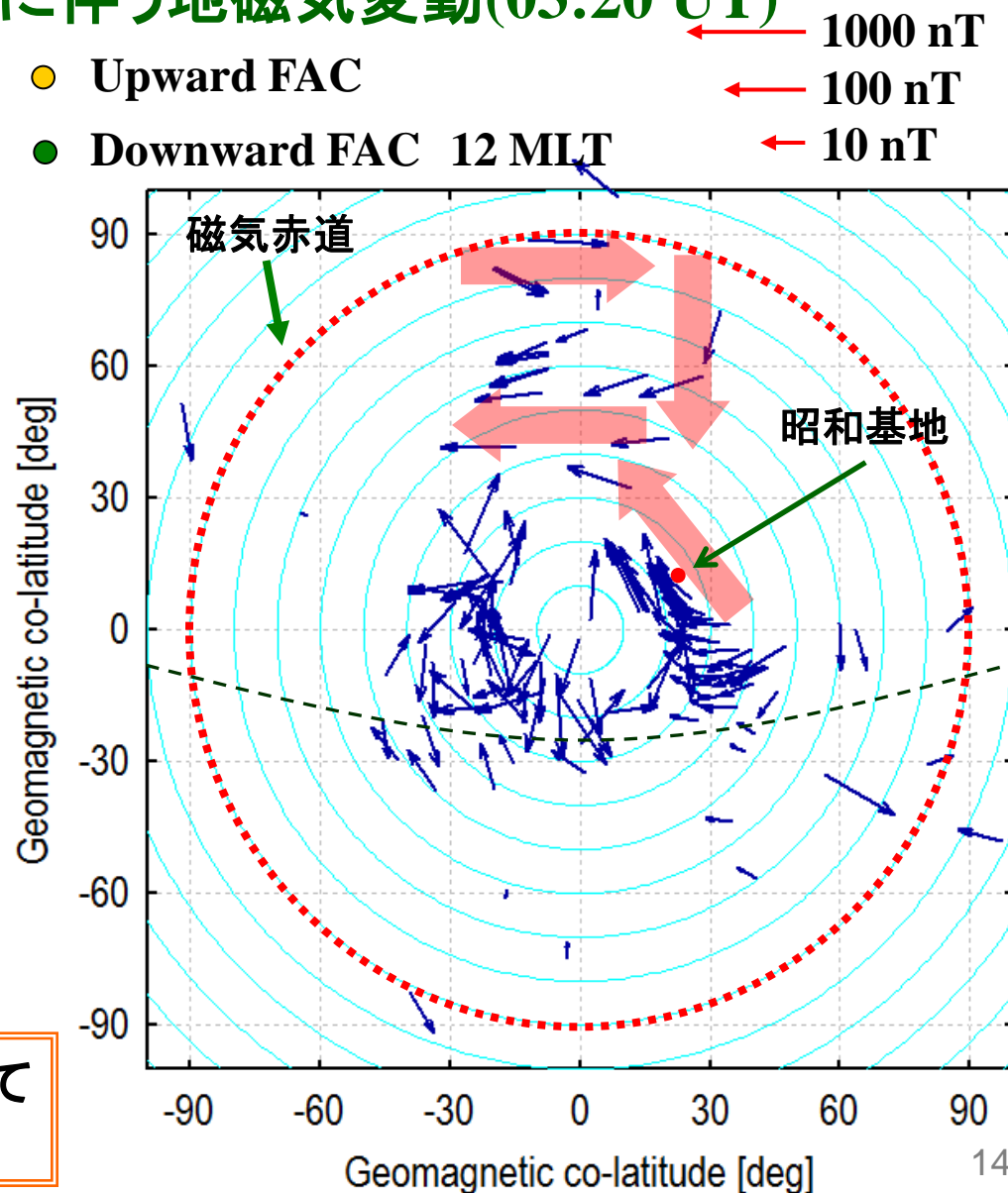


[Blanc and Richmond, 1980]

磁気嵐で駆動された熱圏擾乱によって  
Sq電流系とは逆の電流系が発達

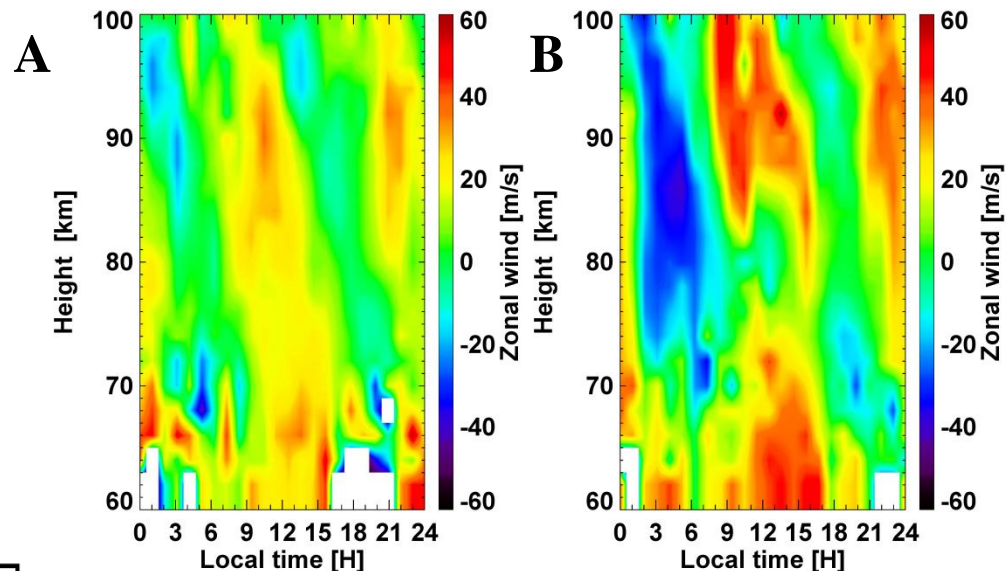
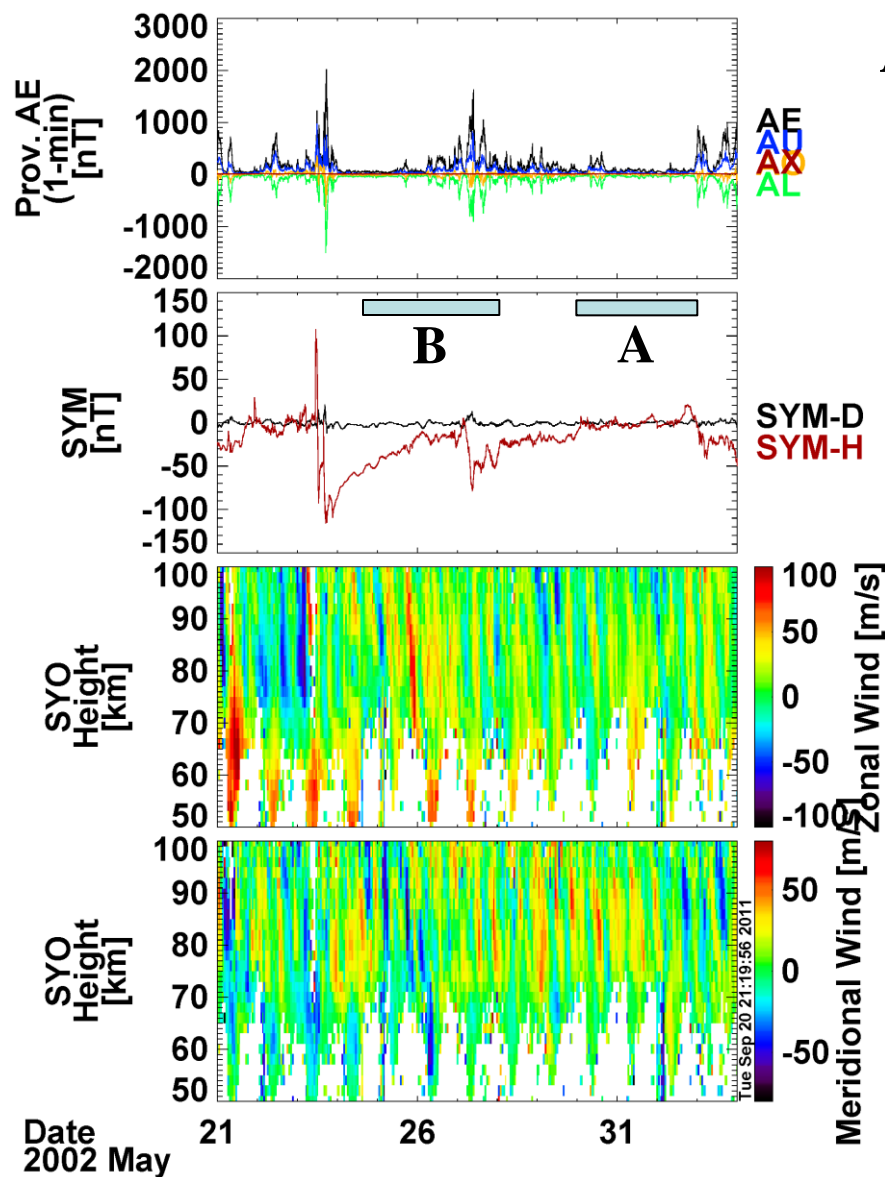
● Upward FAC

● Downward FAC 12 MLT



# IV. 磁気嵐時の熱圏風変動

## IV.1 地磁気静穏日に対する磁気嵐時の平均東西風の変化



上図左: 地磁気静穏時の東西風の高度-地方時のコンタープロット

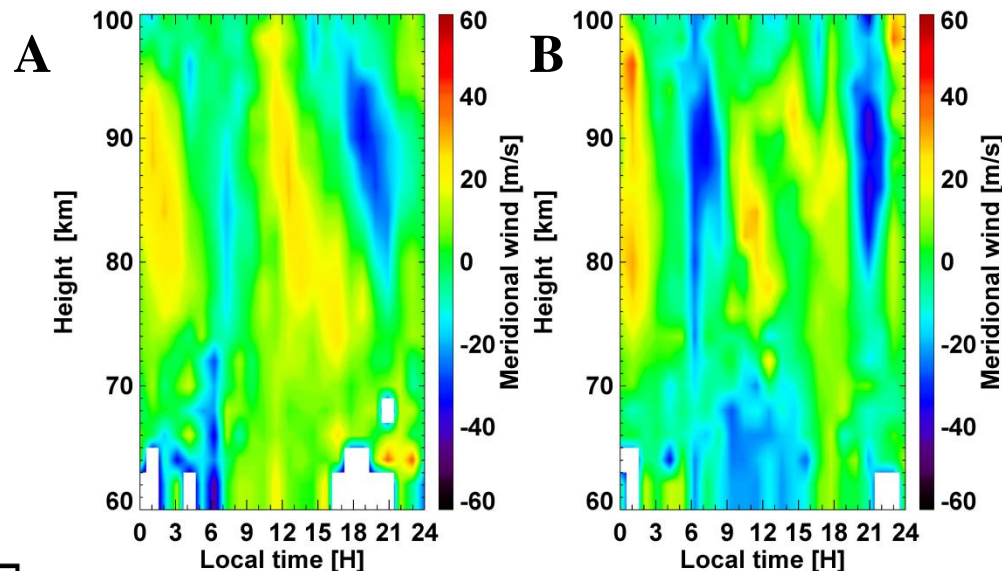
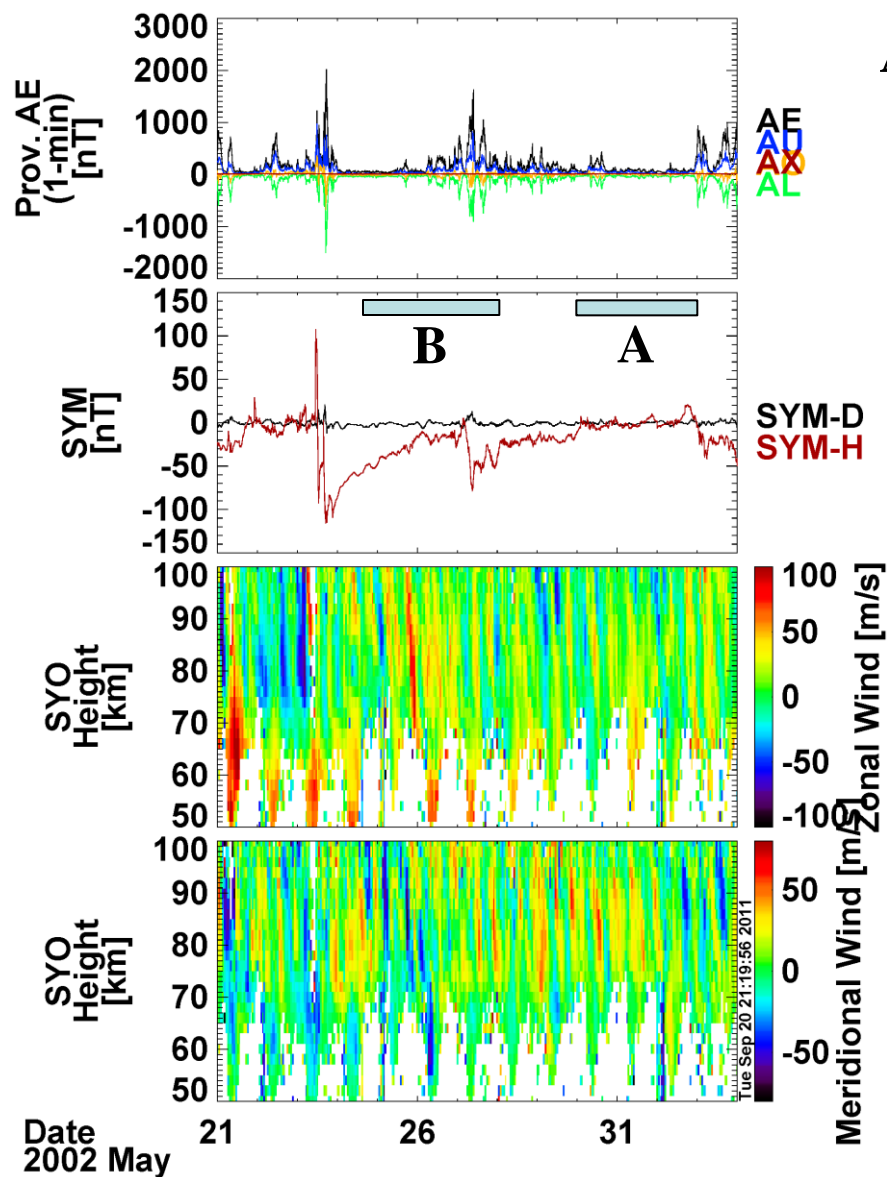
上図右: 磁気嵐回復相時の東西風の高度-地方時のコンタープロット

(両者とも3日分の平均)



# IV. 磁気嵐時の熱圏風変動

## IV.2 地磁気静穏日に対する磁気嵐時の平均南北風の変化



上図左: 地磁気静穏時の東西風の高度-地方時のコンタープロット

上図右: 磁気嵐回復相時の東西風の高度-地方時のコンタープロット

(両者とも3日分の平均)



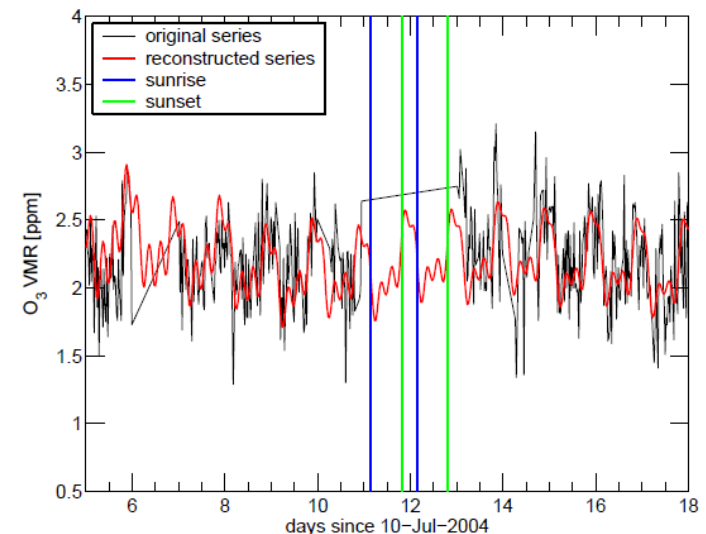
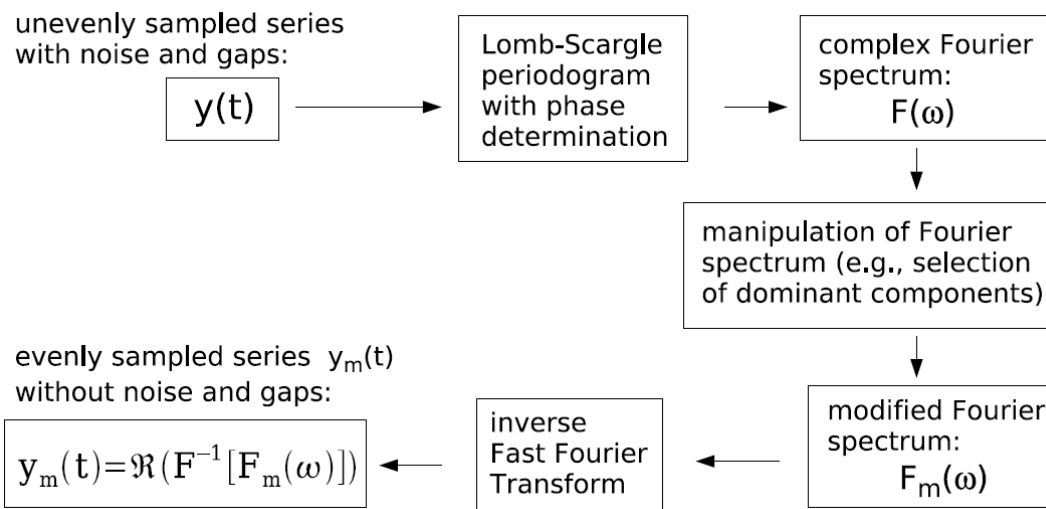
## IV. 磁気嵐時の熱圏風変動

### IV.3 最小2乗フィッティング(Lomb-Scargle method)

○大気潮汐波などの導出に対する周波数解析に、ロムスカーグル法(Lomb-Scargle method) [Press et al., 1992; Hocke and Kampfer, 2009]を用いた

[この手法の特徴]

通常のフーリエ解析と異なり、**データ欠損が存在するようなデータセットに対しても、比較的問題なく周波数解析を行える**点にある。また、得られたスペクトルを時系列データに変換することで、データ欠損区間の補間、再構築が可能である



[Hocke and Kampfer, Ann. Geophys., 9, 4197–4206, 2009]



## IV. 磁気嵐時の熱圏風変動

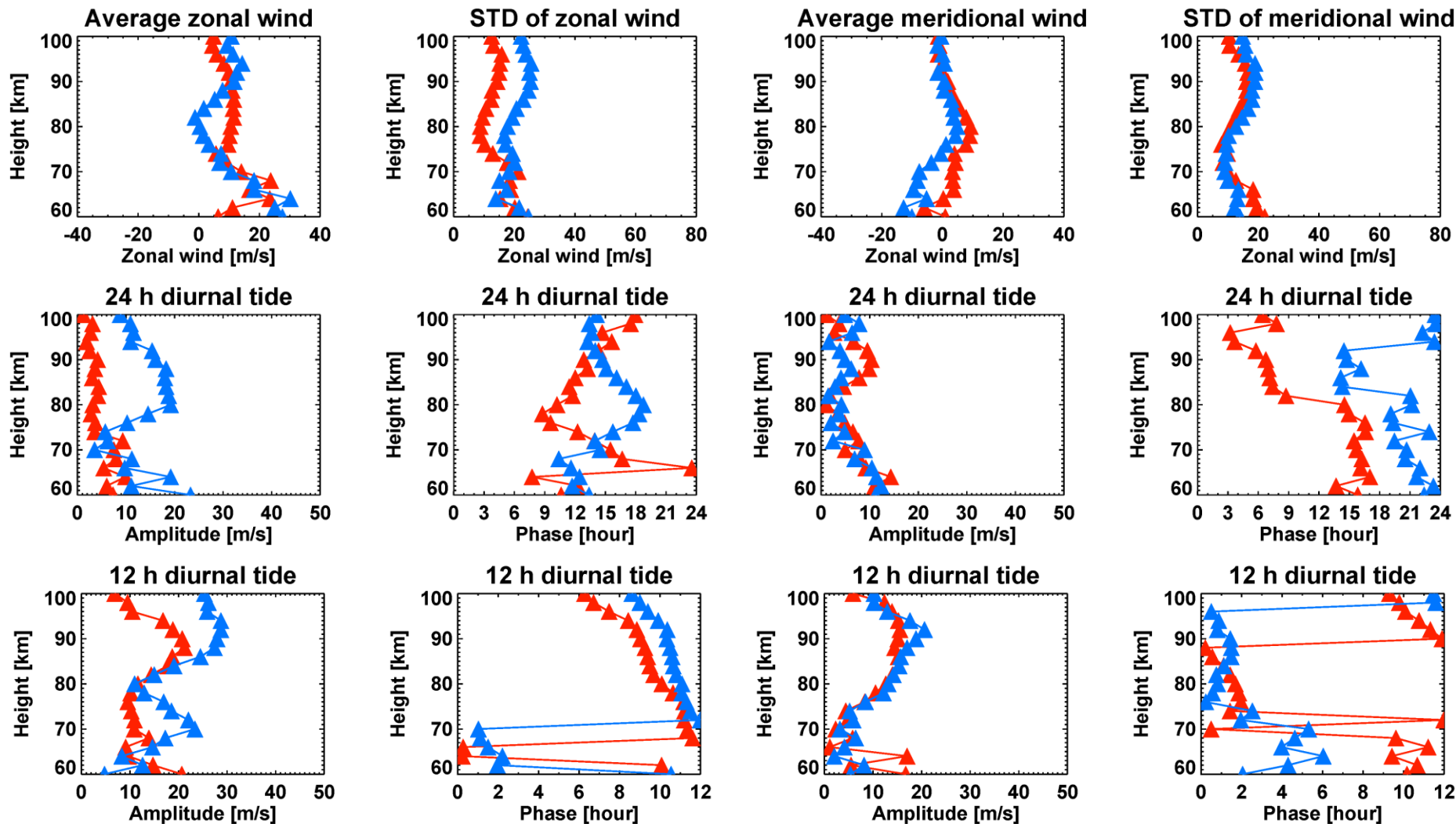
### IV.4 大気波動

	周期	水平規模	鉛直規模	復元力	励起源の例
大気 重力波	約5分-十数 時間以上 (最大周期 は緯度変化 する)	数10km-数 1000 km	10 km-100 km	重力 (浮力)	気象擾、ジェッ ト気流、山岳、 波動や平均流の 非線形結合過程 など。
大気 潮汐波	24時間、12 時間、8時間、 6時間など	10000 kmオ ーダー	数10km以 上	重力 (浮力)	熱圏、成層圏オ ゾン層および対 流圏水蒸気によ る太陽加熱
プラネタリ ー波 (惑星 波動; ロス ビー波)	2日、5日、7 日、16日な ど	10000 kmオ ーダー	数10km以 上	地球の回 転効果 (慣性力)	海陸分布・地形、 水蒸気など



# IV. 磁気嵐時の熱圏風変動

## IV.5 平均風速と1日・半日潮汐波振幅と位相の高度分布



東西成分

赤: 地磁気静穏時、青: 磁気嵐回復相

南北成分



## V.1 これまでの磁気嵐時の熱圏風変動の研究との比較

### 1. アラスカ、カレッジ(北緯65度、西経147度)の流星レーダー観測

[Hook, 1970]

高度75-110kmの熱圏下部・中間圏領域の南向きの中性風がオーロラサブストーム中の夜側オーロラ帯で増加する。

### 2. ミルストンヒル(北緯42.6度、西経71.5度)のISレーダー観測

[Wand, 1983]

磁気擾乱時に高度105kmの風速スペクトルの中で半日潮汐成分の振幅が減少するとともに微少な東西と赤道方向の風速が変動する。

### 3. EISCAT(北緯69.6度、東経19.2度)観測の風速変動

[Kunitake and Schlegel, 1991]

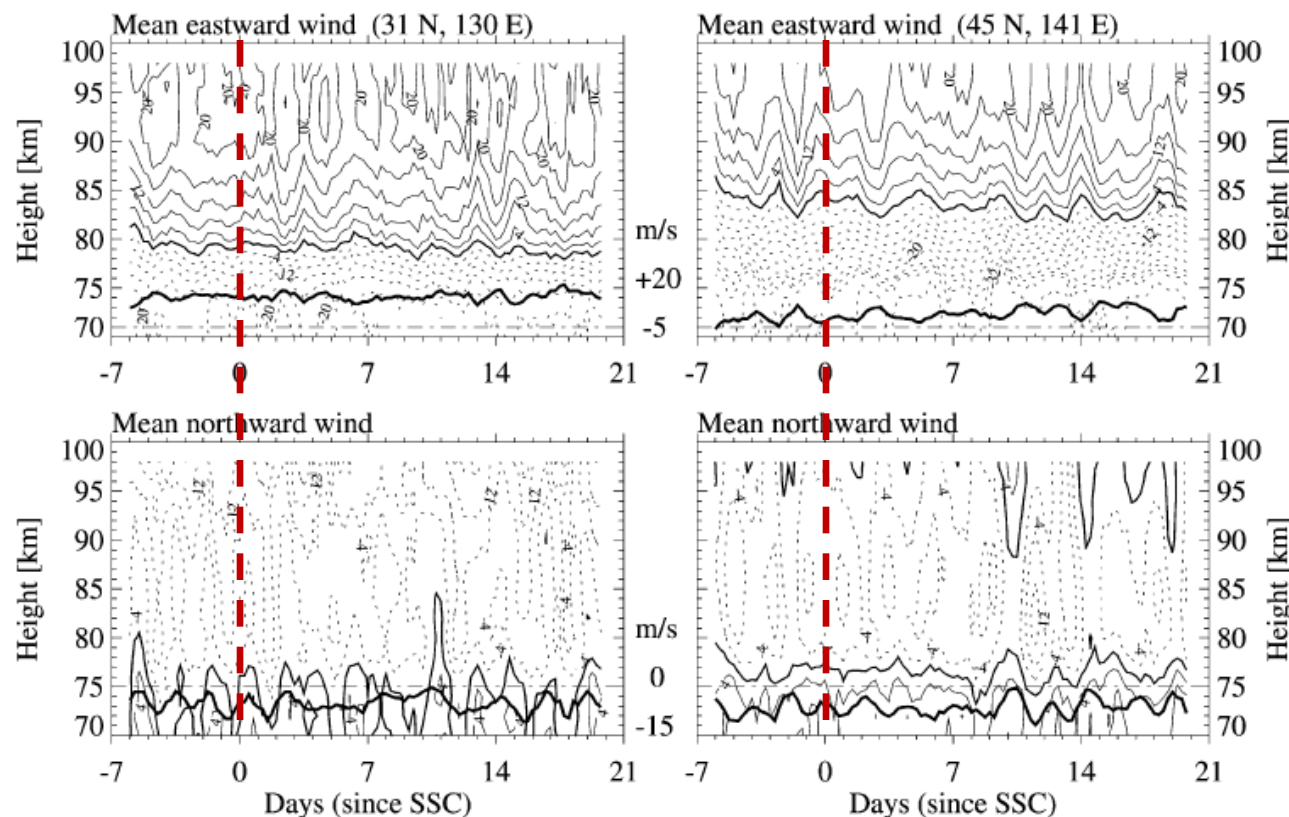
高度117-120kmの1日と半日潮汐の振幅と地磁気指数Kpとの間に相関関係が存在。1985-1990年にわたる統計解析研究。

### 4. 稚内、山川のMFレーダー観測

[Ma et al., 2002]

## V.2 中低緯度における磁気嵐時の熱圏中性風変動

Summer Months



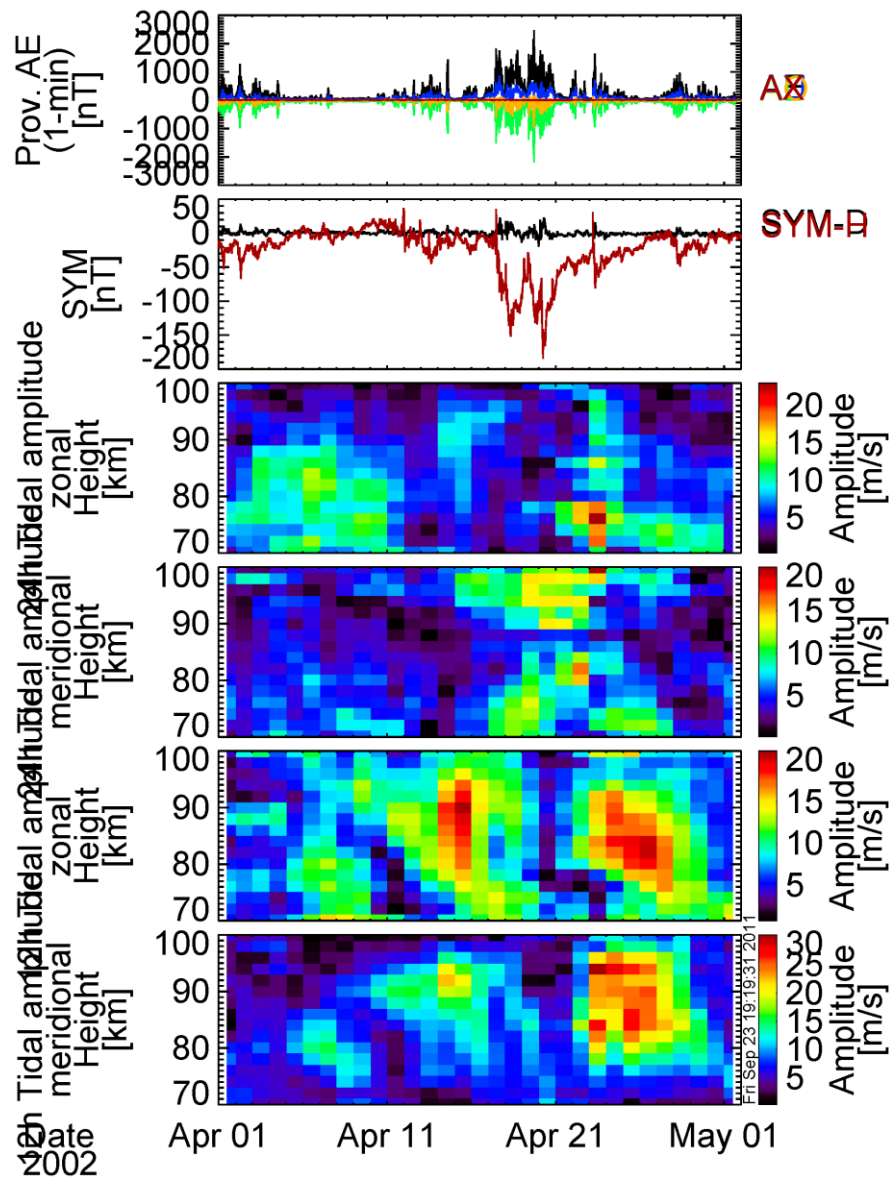
稚内、山川のMFLレ  
ーダー観測

[Ma et al., 2002]

45例の磁気嵐時の熱圏風の変動に対して統計解析を行っているが、顕著な東西と南北成分に際立った変動は読者の目では見られない

⇒大気潮汐波動に関する解析をまだ行っていない

## V.3 他の磁気嵐時における熱圏中性風変動



地磁気AE指数

地磁気SYM-H指数

1日潮汐波動の振幅の東西成分

1日潮汐波動の振幅の南北成分

半日潮汐波動の振幅の東西成分

半日潮汐波動の振幅の南北成分

## V.3 本解析で得られた新しい知見

1. 東西成分と南北成分の平均風速に対する磁気嵐の応答には、以下のような違いが見受けられた

高度70km以上の東西風の分散値が地磁気静穏時と比べて磁気嵐回復相じには、約2倍程度増加

⇒大気潮汐などの大気波動の励起、振幅増加に関係

南北成分に関しては、磁気嵐による変動が見られない

2. 1日大気潮汐 の変化

東西成分に関して、高度70km以上の領域で1日周期の大気潮汐波動の振幅が磁気嵐に伴って約2-3倍増加

その位相成分も変化し、高度80 km付近でその変化が最も大きい

南北成分の振幅には、ほとんど変化が見られなかったが、位相が約3-12時間程度、遅い時間にシフトする

3. 半日大気潮汐 の変化

東西成分についてのみ変化が見られ、高度86km以上の領域でその波動成分の振幅が約1.5-3.0倍程度増加する

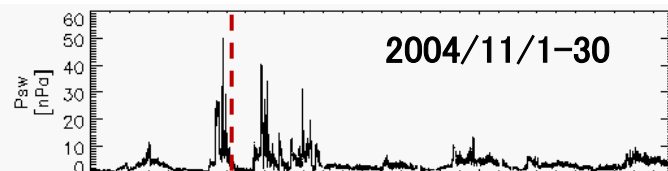
- 磁気嵐主相時(IMF  $B_z < 0$ )において、地磁気変動から見出される等価電流のパターンは、典型的なR-1電流系の変化を示し、**磁気赤道域では、昼間側で東向きの赤道ジェット電流が流れ、夜側で西向きの赤道ジェット電流が流れていることが確認された。**この事実は、**昼夜に関わらず、対流電場がグローバルに侵入している**ことを示すものである。
- 磁気嵐回復相を引き起こすIMF  $B_z$ の強い北向き転向によって、R-1電流系が弱められるとともに、**極冠域と中緯度領域に朝-夕電場を弱めるNBzとR-2電流系が卓越する。**
- 磁気嵐終了後(IMF  $B_z > 0$ )でも、昼間側磁気赤道域で西向きのジェット電流が卓越していることが見出された。このときの等価電流系は、**通常**の**地磁気静穏日変化(Sq)とは逆向き**を呈すとともに、**R2 FACの作る逆向きの対流パターンはサブオーロラ帯になかった。**
- 赤道域で現れる逆向きの電流は、**磁気嵐で発生した熱圏大気擾乱による電離圏ダイナモ作用で駆動されている可能性**と示唆している。



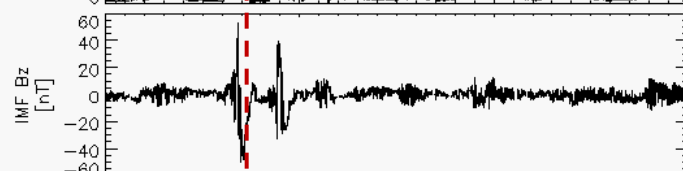
## V. 今後の展開

# IUGONET観測データを用いた統合解析が明かす磁気嵐時のグローバル電流系と熱圏・中間圏の風速変動との関係

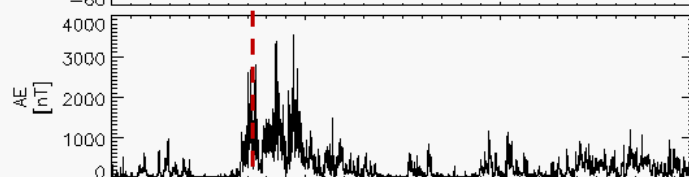
太陽風  
動圧



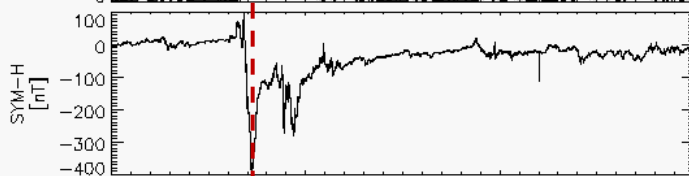
IMF Bz



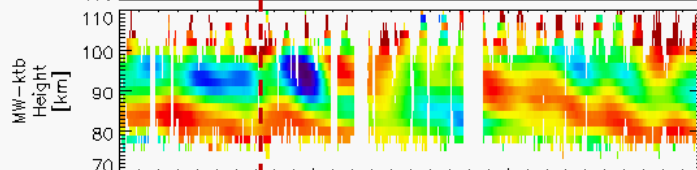
AE



SYM-H



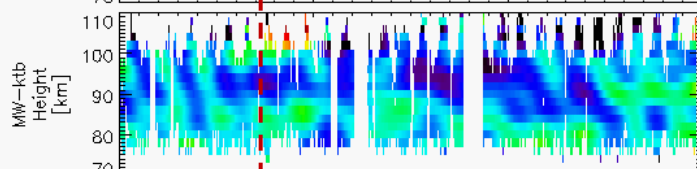
コタバン  
流星レー  
ダー



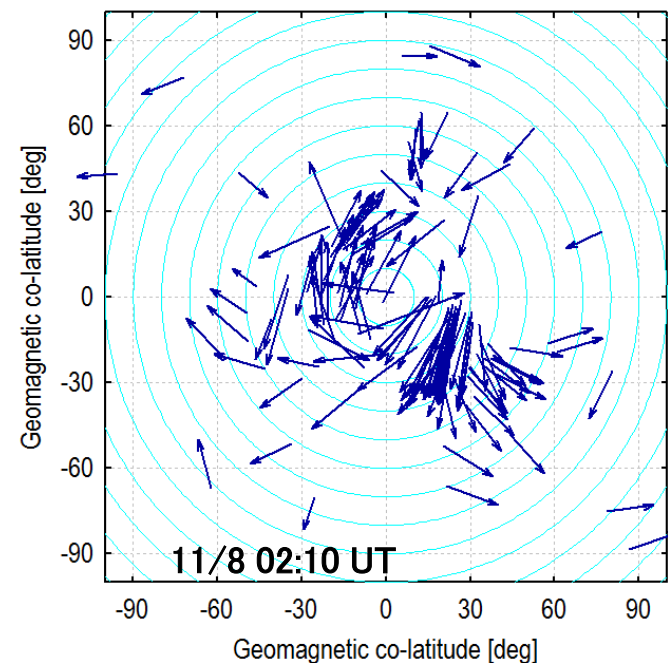
下層大気で特徴的な風速変動はないか？

電離圏擾乱ダイナモンの傍証となる変動は？

R-2電流系による過遮蔽現象と決定的にどこが異なるか？



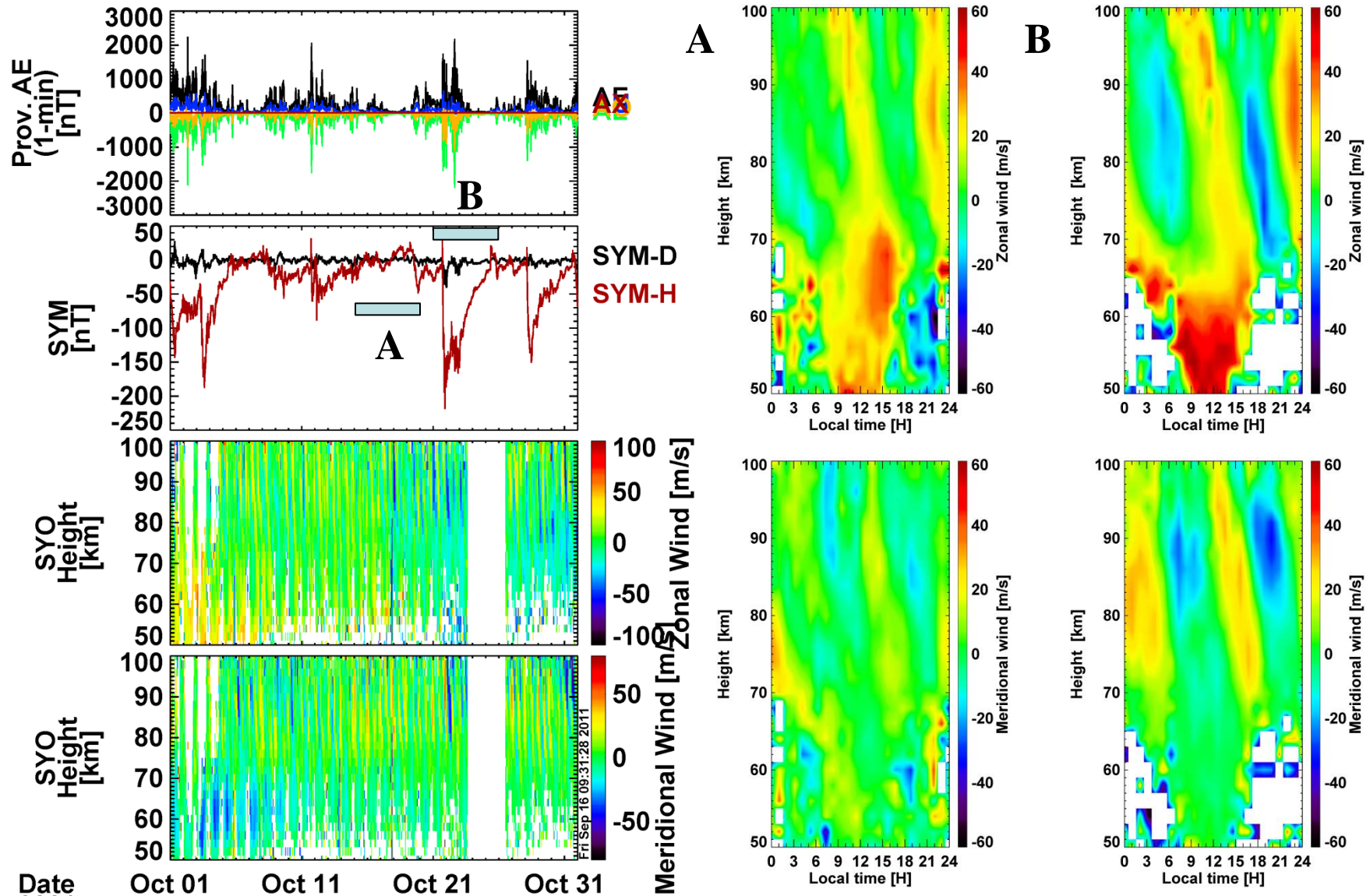
Date 2004 Nov 01 Nov 11 Nov 21 Dec 01



地磁気等価電流マップ

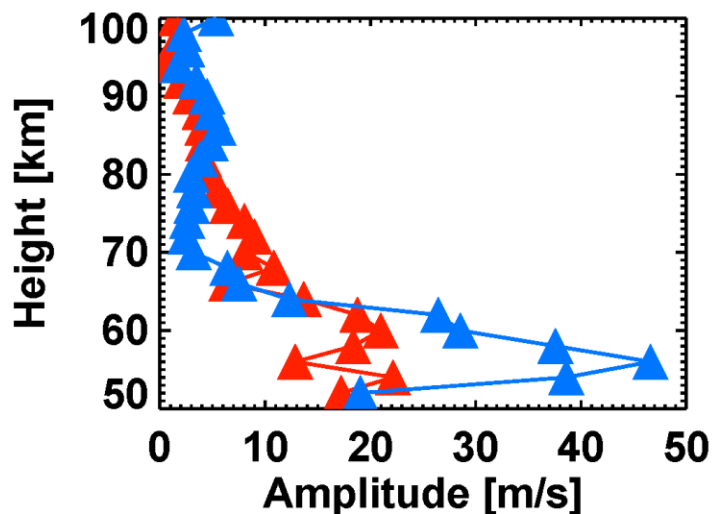


## V.1 他の磁気嵐イベント時の平均風の変化

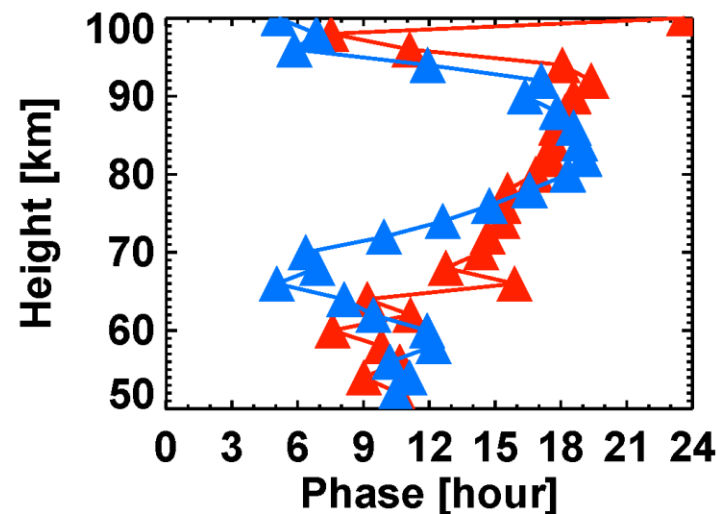


## V.2 24と12時間の潮汐波の振幅と位相の高度分布(東西成分)

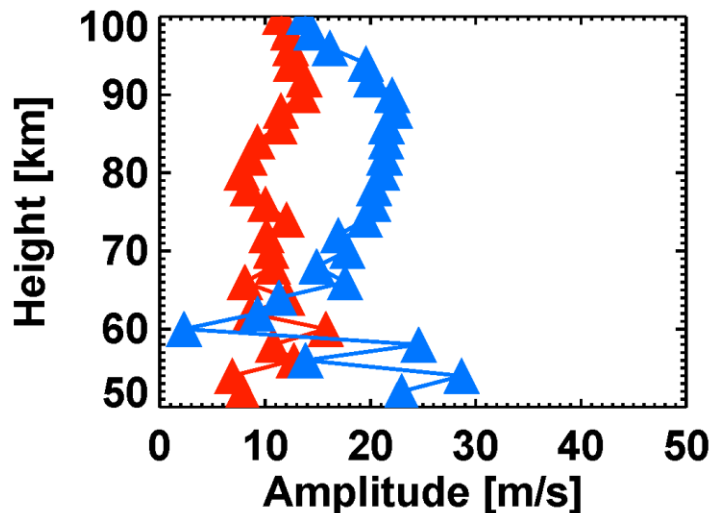
24 h diurnal tide



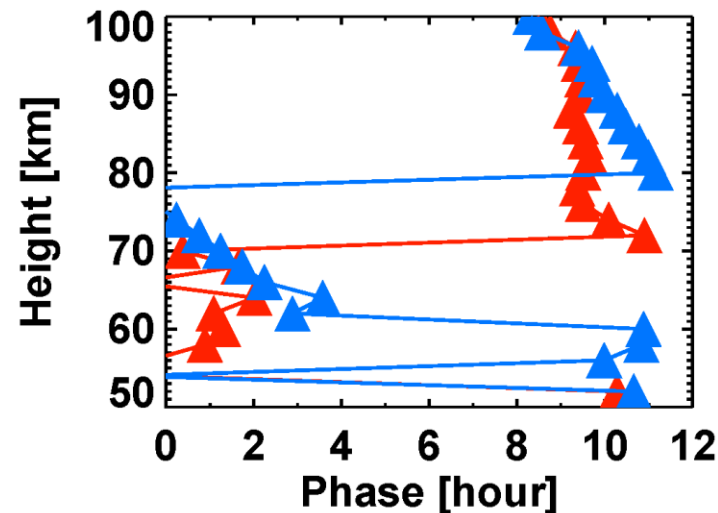
24 h diurnal tide



12 h diurnal tide



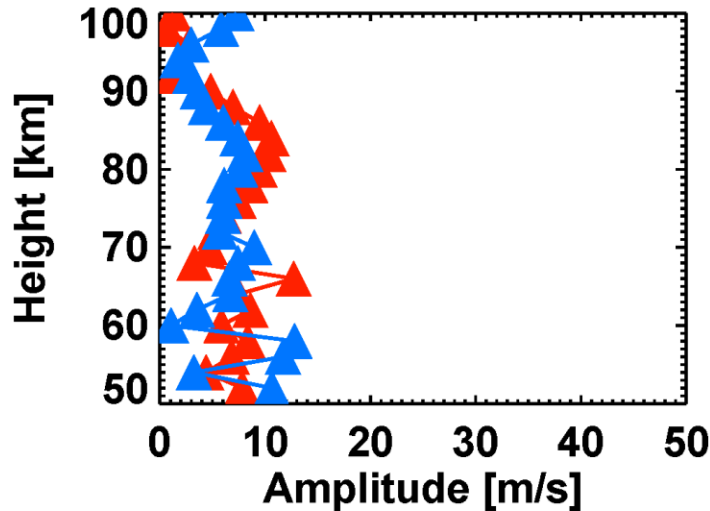
12 h diurnal tide



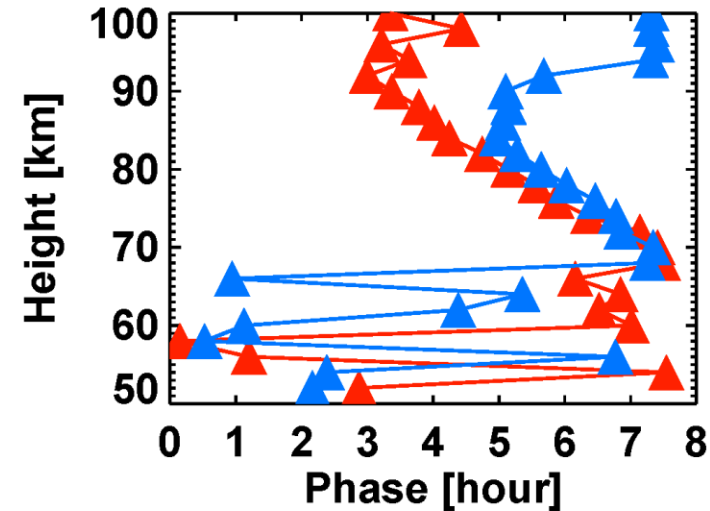


## V.3 8と6時間の潮汐波の振幅と位相の高度分布(東西成分)

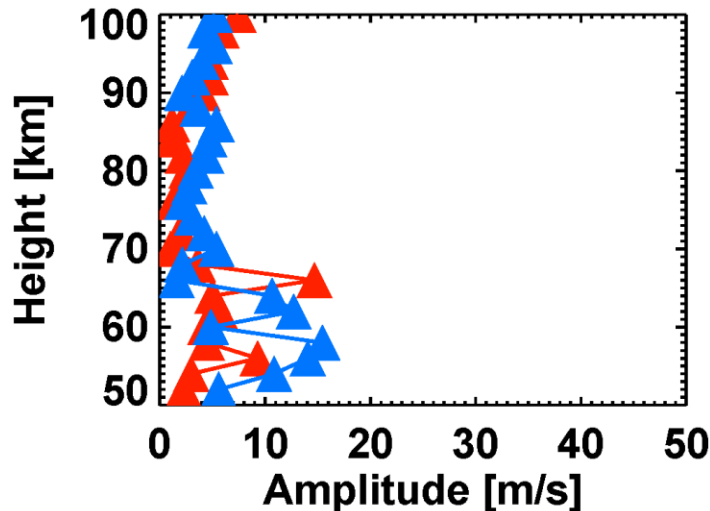
8 h diurnal tide



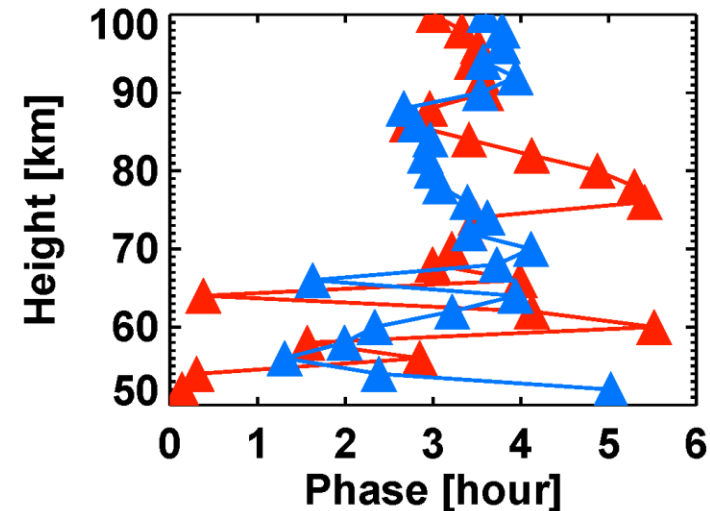
8 h diurnal tide



6 h diurnal tide

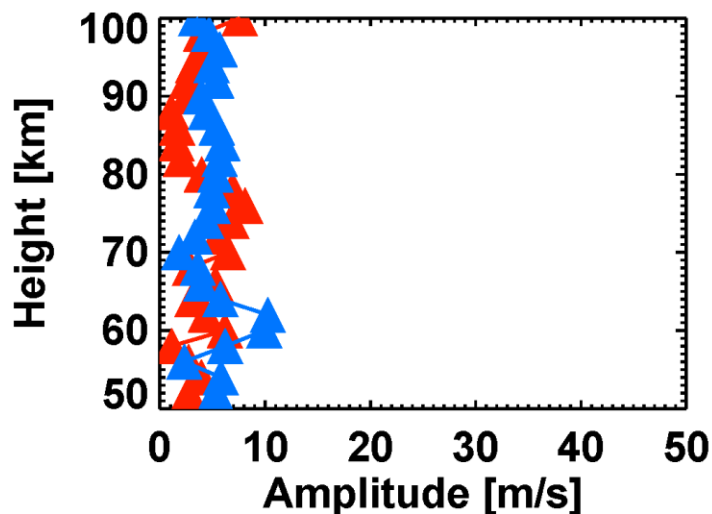


6 h diurnal tide

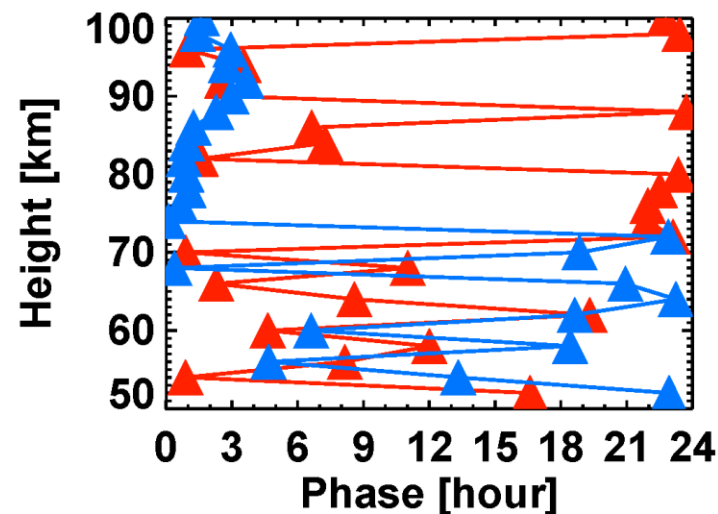


## V.3 24と12時間の潮汐波の振幅と位相の高度分布(南北成分)

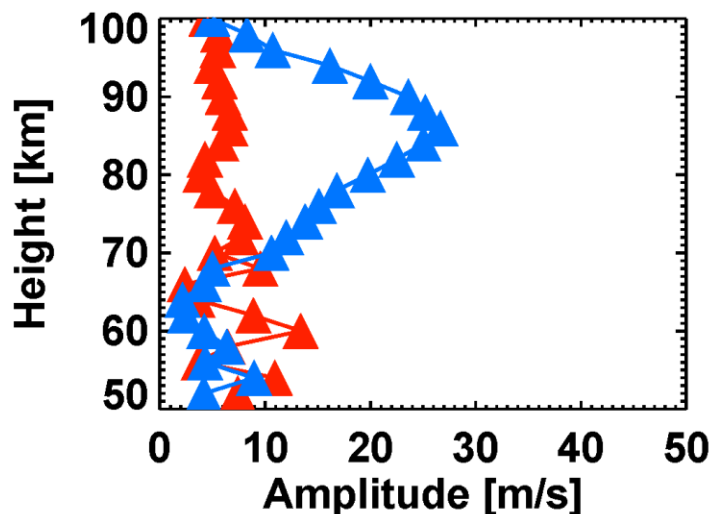
24 h diurnal tide



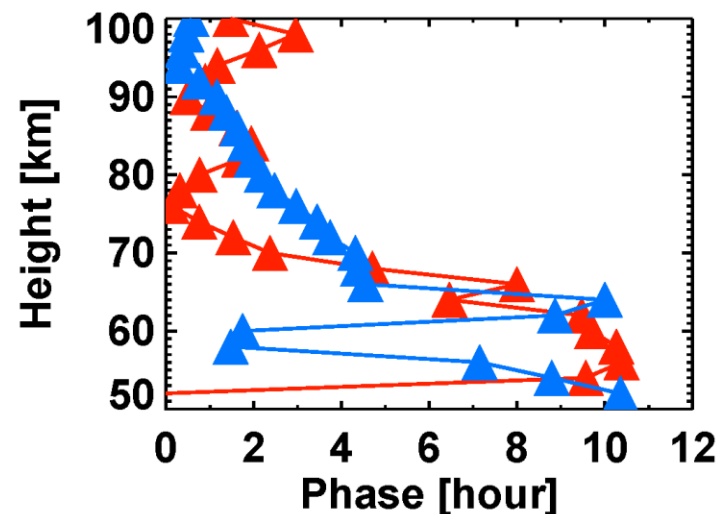
24 h diurnal tide



12 h diurnal tide

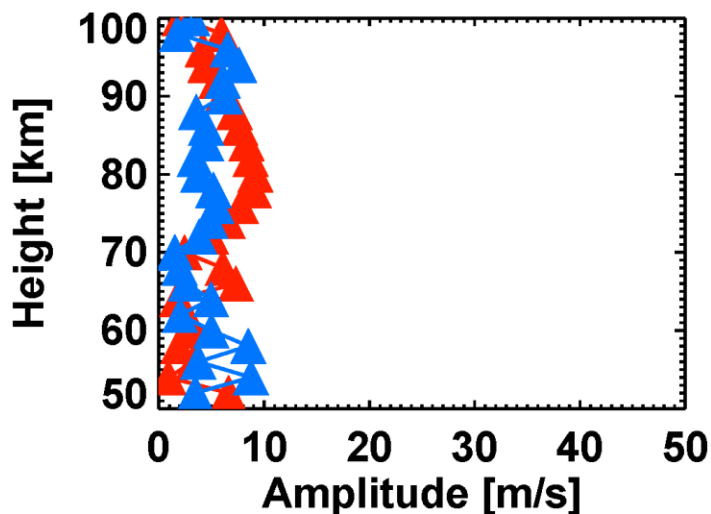


12 h diurnal tide

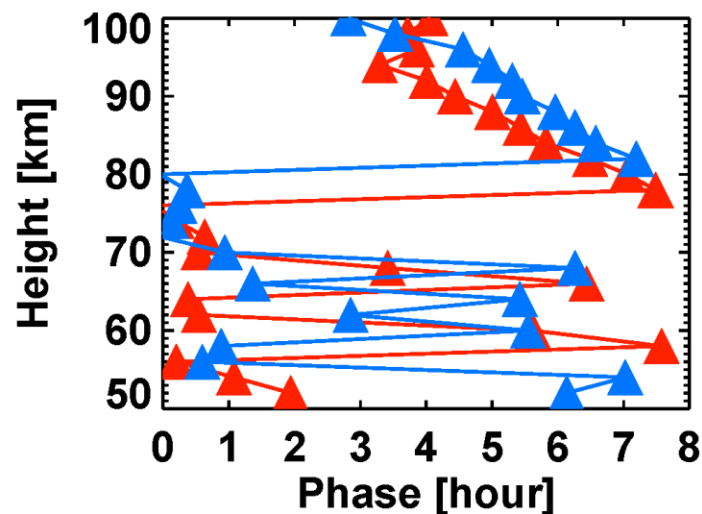


## V.4 8と6時間の潮汐波の振幅と位相の高度分布(南北成分)

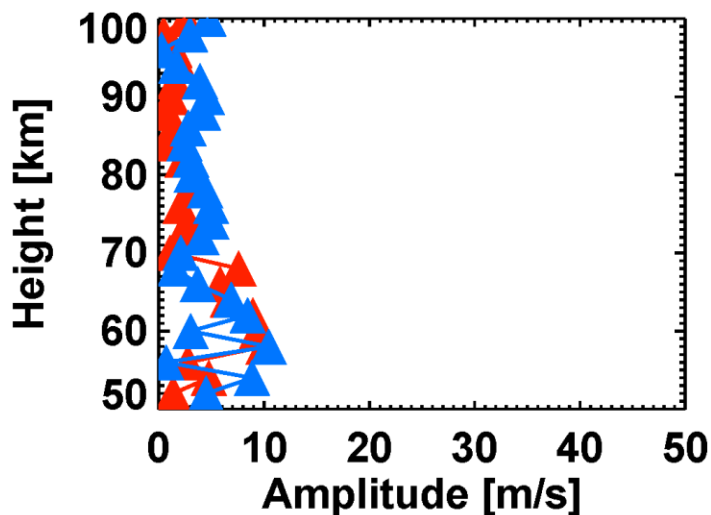
8 h diurnal tide



8 h diurnal tide



6 h diurnal tide



6 h diurnal tide

